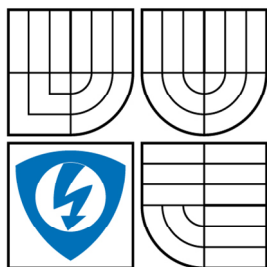


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ



FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

## VÝVOJ APLIKACE PRO MODELOVÁNÍ FYZIKÁLNÍCH JEVŮ PRO OBLAST MECHANIKY

DEVELOPMENT OF APPLICATION FOR SIMULATION OF PHYSICALS EFFECTS FOR THE  
AREA OF MECHANICS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

ZDENĚK LIBIŠ

VEDOUcí PRÁCE  
SUPERVISOR

ING. VLADIMÍR HOLCMAN, PH.D.

BRNO 2009



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor  
Teleinformatika

**Student:** Zdeněk Libiš  
**Ročník:** 3

**ID:** 73012  
**Akademický rok:** 2008/2009

## NÁZEV TÉMATU:

**Vývoj aplikace pro modelování fyzikálních jevů pro oblast mechaniky**

## POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Cílem práce je vytvoření nového prostředí pro výuku a simulaci základních fyzikálních jevů z oblasti mechaniky. Základní cíle lze rozdělit na:

- seznámení s problémem animací a fyzikálního modelování,
- vytvoření teoretických návodů pro všechny připravované animace,
- vytvoření prostředí pro nastavení parametrů pro fyzikální animace,
- implementace všech výše uvedených do prostředí internetových stránek.

## DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] Halliday, Resnick, Walker: Fyzika, Prometheus a Vutium, Praha 2000, 2005. Český překlad: Dub, P. a kol.

[2] Uhdeová a kol. Fyzikální praktikum, Ústav fyziky FEKT VUT v Brně, Brno 2004, 2005, 2006. Skriptum potřebné pro laboratorní cvičení.

**Termín zadání:** 9.2.2009

**Termín odevzdání:** 2.6.2009

**Vedoucí práce:** Ing. Vladimír Holcman, Ph.D.

**prof. Ing. Kamil Vrba, CSc.**  
Předseda oborové rady

## UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

## **Anotace**

Cílem celého projektu je vytvoření komplexního výukového prostředí pro výuku počítačových cvičení předmětu fyzika na FEKT VUT v Brně. Tato práce se věnuje vytvoření simulačního prostředí pro 5 jevů: volný pád, svislý vrh vzhůru, vodorovný vrh, šikmý vrh, harmonický pohyb. Tyto simulace byly vytvořeny v programovacím prostředí Builder 6 v jazyce C++. Grafický formát programu je jednotný. Simulační prostředí umožňuje pro každý jev zadání základních vstupních veličin, pro které jsou poté vykresleny grafické závislosti veličin charakterizujících daný jev. V práci jsou pro jednotlivé simulace popsány vstupní veličiny i zobrazované grafické závislosti. K těmto jevům je popsána také fyzikální teorie. Dále bylo vytvořeno rozhraní pro výběr jevu a spouštění příslušných programů. Do tohoto rozhraní je možné doplňovat další jevy pomocí editačního souboru. V práci je také rozebrána úloha fyziky v dnešním světě a smysl modelování fyzikálních jevů.

## **Abstract**

The object of this project is to create complex educational software for studying computer practise in physics at FEEC VUT in Brno. This thesis deals with creating of simulative applications for five phenomenons: free fall, vertical throw upwards, horizontal throw, oblique throw, harmonic motion. These simulations were created in the program called Builder 6, in the language C++. Graphic format of the programs is similar. In the simulations is possible to insert basic input quantities for every phenomenon, for which is pictured the chart, which characterizes the phenomenon. In the thesis are described input quantities for every simulation and pictured charts. For this phenomenon are described physics theories as well. In the next step was created interface for the choice of a phenomenon and for starting relevant programs. It is possible to fill next phenomenon in this interface thanks to the editable file. In the thesis is described the purport of physics in the contemporary World as well as the meaning of the modelling of physical phenomenon.

## **Klíčová slova:**

Simulace, modelování, aplikace, fyzika, programování.

## **Keywords:**

Simulation, modeling, application, physics, programming.

## **Citace práce**

LIBIŠ, Z. *Vývoj aplikace pro modelování fyzikálních jevů pro oblast mechaniky*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009. 40 s, 3 přílohy. Vedoucí bakalářské práce Ing. Vladimír Holcman, Ph.D.

## **Prohlášení o původnosti práce**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Vývoj aplikace pro modelování fyzikálních jevů pro oblast mechaniky jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení §11 a následujících autorského zákona č.121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení §152 trestního zákona č.140/1961 Sb.

V Brně dne .....

.....  
podpis autora

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Vladimíru Holcmanovi, Ph.D. za cenné rady a pomoc při zpracování práce.

V Brně dne .....

.....  
podpis autora

# Obsah

Seznam obrázků .....	9
1 Úvod .....	10
2 Teoretická část .....	11
2.1 Fyzika .....	11
2.1.1 Historie .....	11
2.1.2 Fyzika jako věda .....	11
2.1.3 Obory fyziky .....	11
2.1.4 Dnešní fyzika .....	11
2.1.5 Simulace ve fyzice .....	11
2.2 Šikmý vrh .....	12
2.2.1 Úvod .....	12
2.2.2 Popis pohybu .....	12
2.2.3 Matematický popis .....	13
2.2.4 Vliv prostředí .....	14
2.3 Volný pád .....	15
2.3.1 Úvod .....	15
2.3.2 Popis pohybu .....	15
2.3.3 Matematický popis .....	16
2.3.4 Vliv prostředí .....	16
2.4 Svislý vrh vzhůru .....	17
2.4.1 Úvod .....	17
2.4.2 Popis pohybu .....	17
2.4.3 Matematický popis .....	17
2.4.4 Vliv prostředí .....	18
2.5 Vodorovný vrh .....	18
2.5.1 Úvod .....	18
2.5.2 Popis pohybu .....	18
2.5.3 Matematický popis .....	19
2.5.4 Vliv prostředí .....	20
2.6 Harmonický pohyb .....	20
2.6.1 Frekvence a kmitočet .....	20
2.6.2 Popis pohybu .....	20

2.6.3	Matematický popis .....	21
2.7	Jazyk C++ .....	22
2.7.1	Objektově orientované programování (OOP) .....	22
2.8	C++ Builder 6 .....	22
2.8.1	Základní okna prostředí .....	23
3	Praktická část .....	24
3.1	Základní koncept .....	24
3.2	Simulační aplikace .....	24
3.2.1	Aplikace Šikmý vrh .....	25
3.2.2	Aplikace Volný pád .....	27
3.2.3	Aplikace Svislý vrh .....	28
3.2.4	Aplikace Vodorovný vrh .....	29
3.2.5	Aplikace Harmonický pohyb .....	30
3.3	Program Menu .....	31
3.3.1	Používání programu .....	31
3.3.2	Editování programu .....	32
4	Závěr .....	34
	Použitá literatura .....	35
	Seznam veličin .....	36
	Seznam příloh .....	37



## Seznam obrázků

Obr. 1: Trajektorie šikmého vrhu .....	13
Obr. 2: Srovnání trajektorií šikmého vrhu ve vakuu (1) a ve vzduchu (2) .....	15
Obr. 3 : Volný pád tělesa s nulovou počáteční rychlostí.....	16
Obr. 4: Trajektorie svislého vrhu v ideálním prostředí rozložena na 2 dílčí pohyby – a)rovn. zpomalený pohyb, b) volný pád .....	17
Obr. 5: Trajektorie vodorovného vrhu v ideálním prostředí .....	19
Obr. 6: Poloha částice při harmonickém pohybu v různých okamžicích.....	21
Obr. 7: Popis základních oken vývojového prostředí C++ Builder 6 .....	23
Obr. 8: Hlavní okno simulace šikmého vrhu.....	24
Obr. 9: Panel pro zadávání veličin .....	25
Obr. 10: Ovládací prvky programu .....	25
Obr. 11: Grafy zobrazující výsledky simulace.....	26
Obr. 12: Hlavní okno aplikace Volný pád.....	28
Obr. 13: Hlavní okno aplikace Svislý vrh .....	29
Obr. 14: Hlavní okno aplikace Vodorovný vrh.....	30
Obr. 15: Hlavní okno aplikace Harmonický pohyb .....	31
Obr. 16: Hlavní okno aplikace Menu .....	32
Obr. 17: Ukázka editačního souboru.....	33

# 1 Úvod

Současný pohled na způsob získání informací a jejich zpracování nutí přetvářet podobu zdrojů těchto informací. Trendem je nejen vytvoření elektronických textů na místo klasických, ale i snaha o co nejnázornější vysvětlení dané problematiky. Také fyzika, která bývá často pro studenty příliš abstraktní vědou, se v tomto směru přizpůsobuje a pokouší se vysvětlovat jevy na konkrétních příkladech, které nás obklopují.

Námětem předložené bakalářské práce je vytvoření nového výukového prostředí pro studium fyziky na Fakultě elektrotechniky a komunikačních technologií. Cílem celého projektu je co největší zatraktivnění studia fyziky pro studenty prvního ročníku bakalářských programů. Snahou je nabídnout všechny studijní materiály v moderní podobě umístěné v internetovém prostředí.

Současná počítačová technika dovoluje modelovat jevy v simulačních prostředích, které dokáží nahradit reálný průběh jevu. Studenti tak nejsou odkázáni jen na suchý popis, ale mohou vliv různých parametrů pozorovat přímo na simulovaném průběhu. Simulační část projektu nahradí stávající program Fámulus, jež je již značně zastaralý. Současně bude vytvořena fyzikální teorie ke každému zkoumanému jevu. Pro názornou ukázkou jevu v praxi bude možné využít animaci, která bude další částí tohoto projektu. Dohromady tak vznikne komplexní výukový nástroj, jenž nabídne jasný přehled o dané látce. Prvními takto zpracovanými jevy se stanou pohyby v homogenním tíhovém poli Země a harmonický pohyb. Dále bude věnována pozornost dalším jevům z oblasti mechaniky a později i z oblasti magnetismu a elektřiny.

## **2 Teoretická část**

### **2.1 Fyzika**

#### **2.1.1 Historie**

Slovo fyzika má svůj původ v řečtině. Je odvozeno ze slova fysis, což znamená v překladu příroda. Fyzika se tedy věnovala nejen všem přírodním jevům, ale i všemu s přírodou spjatého. Postupem času se z ní, jako jediné přírodní vědní nauky, začaly vyčleňovat další vědní disciplíny, např. biologie, astronomie, chemie, geologie a další. Současná fyzika je přírodní věda, která zkoumá nejobecnější zákonitosti jevů přírody, stavbu a vlastnosti hmoty a zákony jejího pohybu. [1]

#### **2.1.2 Fyzika jako věda**

Fyzika je vědou exaktní, tudíž její zákonitosti mají vždy nějakou důkazovou podstatu, jež může vycházet z experimentů nebo matematických výpočtů. Snahou je určitý fyzikální jev nejen podrobně prozkoumat, ale i hledat souvislosti s ostatními a tím vytvářet komplexní teorie. Mezi základní metody fyziky patří experimentální a teoretická. Experimentální metoda, jež zkoumá viditelné jevy v přírodě pozorováním, se jeví jako intuitivní a byla používána nejdříve. Leč všechny jevy nelze měřit nebo jinak kvantitativně popisovat a k tomu, aby byly vysvětleny, musí být vytvořena teorie vycházející z myšlenkové podstaty nebo z modelu, vytvořeného pomocí matematických poznatků. Tyto teorie je nutné potvrdit pomocí experimentů. Obě metody nelze navzájem oddělit, poněvadž každý experiment musí být popsán teoreticky a naopak žádnou teorii nelze považovat za regulérní bez ověření experimentem. [1]

#### **2.1.3 Obory fyziky**

Fyzika se dělí na jednotlivé obory dle zkoumané oblasti. Obory jsou však často provázány a navzájem se prolínají. Fyziku lze rozdělit podle oblastí z pohledu „světa“, jež popisuje. Tak se dělí na fyziku mikrosvěta, makrosvěta a megasvěta. I když by se na první pohled zdálo, že rozdíly v těchto oblastech budou jen ve velikosti zkoumaných objektů, ale jinak budou zákony stejné pro všechny světy, není tomu tak. V každé oblasti je třeba užívat jinou představu, z čehož vychází i velmi rozdílné zákonitosti.

#### **2.1.4 Dnešní fyzika**

Fyzika k popisu jevů používá matematický aparát a to velice efektivně. Dokáže i složité jevy definovat pomocí jednoduchých rovnic, čímž se stává lehce přístupnou. V dnešní době se stává fyzika základem pro mnoho ostatních věd. Svým velkým pokrokem by teoreticky mohla opět zahrnout do sebe zpět některé obory. Kupříkladu všechny chemické reakce se dějí přesně podle fyzikálních zákonitostí, jejichž matematický popis by byl však příliš složitý a neefektivní. Podobně i biologické procesy by bylo možné popsat pomocí fyz. jevů. Jejich kvantitativní popis by byl ale ještě složitější, než u jevu u chemických dějů, a proto si tyto vědy zachovávají svoji suverenitu.

#### **2.1.5 Simulace ve fyzice**

Slovo simulace obecně popisuje imitaci určité skutečné věci nebo skutečného děje. Stejný význam má i pro simulování dějů ve fyzice. Využívání simulací se stalo nedílnou součástí fyzikálního bádání. K jeho nesporným výhodám patří možnost nastavení různých parametrů dle potřeby, což by při provádění reálného experimentu nebylo často možné. Podle počtu

parametrů a největšímu přiblížení realitě lze rozlišovat kvality různých simulátorů. Simulace tedy může přinést informaci o jevu i v podmínkách, které lze těžce realizovat nebo by při nich vznikla určitá rizika.

Na výsledky simulací se však musí vždy pohlížet s určitým nadhledem a nelze jim bezmezně věřit. Simulace je totiž vždy vytvářena v určitém idealizovaném světě a není možné v ní předpokládat všechny situace, jež mohou nastat v prostředí reálném. Jako příklad mohou posloužit snahy o modelování chování naší planety v budoucnu. Dnešní počítače dokáží z obrovského množství informací, které jsou jim dodávány, předpovídat vývoj podnebí i počasí v různých částech světa na několik desítek i stovek let dopředu. V mnoha lidech to může vyvolávat úžas a obdiv. Výsledkům zatím nelze příliš věřit. Data jsou získávána teprve několik desítek let a při složitosti dějů, které koloběh naší planety řídí a navíc minimální zkušenosti lidstva s delším časovým cyklem chování Země, se předpoklady z těchto vypočtených modelů blíží věštění ze skleněné koule. S rozvojem počítačové techniky se právě počítač ukázal nejen jako výkonný nástroj při provádění složitých výpočtů pro fyzikální účely, ale i jako vhodný prostředek pro modelování fyzikálních jevů.

## 2.2 Šikmý vrh

### 2.2.1 Úvod

Se šikmým vrhem se člověk setkává denně již od nejstarších dob. Jeho studiu, i když na té nejprimitivnější úrovni, byl nucen se věnovat už v pravěku při lovu nebo dalších činnostech. Už pravěký člověk jistě chápal základní zákonitosti tohoto pohybu. Věděl, že k tomu, aby těleso doletělo nejdále, nestačí jen co největší síla (tedy co největší hodnota počáteční rychlosti), ale i směr, kterým těleso vrhne (tedy úhel poč. rychlosti). V další historii tento jev určitě měli dobře prozkoumaný např. konstruktéři obléhacích zbraní, pro něž byl výpočet délky vrhu klíčový. V dnešním světě se studiem zabývají např. atleti ve vrhačských disciplínách, pro něž je, zvláště při venkovních závodech, vliv prostředí na délku hodu nezanedbatelným. My se budeme věnovat šikmému vrhu především ve vakuu, jehož popis je nejjednodušší.

### 2.2.2 Popis pohybu

Jako těleso si představme míček vržený počáteční rychlostí

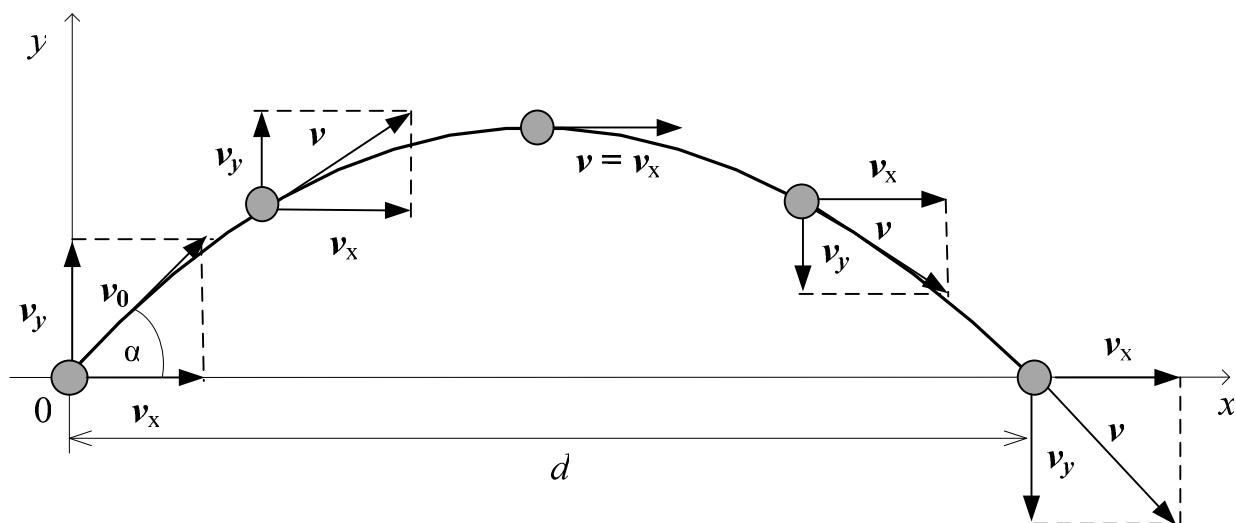
$$\mathbf{v} = v_{0x}\mathbf{i} + v_{0y}\mathbf{j}, \quad (1)$$

kde  $\mathbf{i}$  je jednotkový vektor ve směru osy  $x$ ,  $\mathbf{j}$  jednotkový vektor ve směru osy  $y$ .

Složky  $v_{0x}$  a  $v_{0y}$  této rychlosti lze zapsat pomocí její velikosti  $v_0$  a úhlu  $\alpha$  (tzv. elevační úhel), který svírá vektor  $\mathbf{v}_0$  s kladným směrem osy  $x$ :

$$v_{0x} = v_0 \cdot \cos \alpha \quad \text{a} \quad v_{0y} = v_0 \cdot \sin \alpha \quad (2),(3)$$

Polohový vektor  $\mathbf{r}$  i rychlost střely  $\mathbf{v}$  se při jejím pohybu ve svislé rovině neustále mění. Její zrychlení  $\mathbf{a}$  je však stále a vždy míří svisle dolů. (Vodorovná složka zrychlení je nulová.) Toto zrychlení je rovno tíhovému zrychlení.[2]



**Obr. 1: Trajektorie šikmého vrhu**

Míček vyletí z počátku soustavy souřadnic v okamžiku  $t=0$  rychlostí  $v_0$  (Obr. 1). V jednotlivých bodech trajektorie jsou zakresleny vektory rychlosti a jejich rozklad do složek. Všimněte si, že vodorovná složka rychlosti se v průběhu pohybu nemění, na rozdíl od složky svislé. Délkou vrhu  $d$  rozumíme vodorovnou vzdálenost míčku od místa vrhu měřenou v okamžiku, kdy míček projde bodem ležícím v téže výšce nad povrchem Země jako místo vrhu.[2]

Vodorovné a svislé složky veličin popisujících vrh jsou na sobě nezávislé. Neovlivňují se navzájem. Pohyb částice v rovině můžeme tedy získat složením dvou pohybů přímočarých, vodorovného a svislého.[2]

### 2.2.3 Matematický popis

K matematickému popisu využijeme nezávislosti vodorovné a svislé složky pohybu.

#### Pohyb ve vodorovném směru

Na těleso působí pouze tíhové zrychlení, jehož vodorovná složka je nulová. Vodorovná složka rychlosti se tudíž s časem nemění. Její hodnota je tedy po celou dobu pohybu konstantní a rovna počáteční hodnotě  $v_{0x}$ . Vzdálenost, kterou urazí těleso ve vodorovném směru v čase  $t$  je dána vztahem

$$x = v_{0x} \cdot t. \quad (4)$$

Po dosazení  $v_{0x} = v_0 \cdot \cos \alpha$  dostaneme

$$x = v_0 \cdot \cos \alpha \cdot t. \quad (5)$$

#### Pohyb ve svislém směru

Částice koná ve svislém směru pohyb, jehož trajektorie i zákonitosti jsou stejné jako pro svislý vrh. Můžeme použít stejné vztahy. Tedy pro okamžitou výšku tělesa v čase  $t$  platí

$$y = v_{0y} \cdot t - \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2. \quad (6)$$

Po dosazení  $v_{0y} = v_0 \cdot \sin \alpha$  dostaneme

$$y = v_0 \cdot \sin \alpha \cdot t - \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2. \quad (7)$$

Protože na těleso působí tíhové zrychlení  $g$ , bude pro rychlost  $v_y$  v čase  $t$  platit

$$v_y = v_0 \sin \alpha - g \cdot t. \quad (8)$$

Z rovnice je patrné, jakých hodnot bude postupně rychlost  $v_y$  nabývat. Od počátku vrhu bude její hodnota klesat k nule, které dosáhne v maximální výšce letu. Poté se mění znaménko rychlosti a ta opět s časem roste.[1],[2]

### Délka vrhu

Pod pojmem délka vrhu  $d$  si představujeme vzdálenost mezi místem, odkud byl míček vržen a místem, kde dopadl do počáteční výšky nad povrchem Země. Souřadnice míčku jsou v tento okamžik rovny  $x = d$ ,  $y = 0$ . Dosazením těchto hodnot do rovnic pro okamžitou polohu míčku (5),(7) dostáváme

$$x = v_0 \cdot \cos \alpha \cdot t = d \text{ a } y = v_0 \cdot \sin \alpha \cdot t - \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 = 0. \quad (9), (10)$$

Vyjádřením času z druhé rovnice (10) a jeho dosazením do první (9) dostáváme rovnici pro délku vrhu

$$d = \frac{2 \cdot v_0^2}{g} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha \quad (11)$$

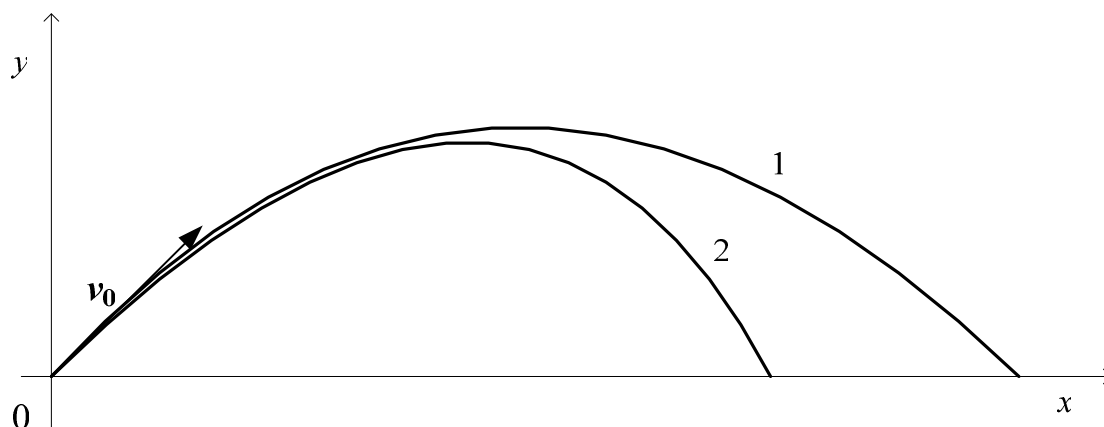
Tento vztah lze ještě pomocí známé identity  $\sin 2\alpha = 2 \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha$  zjednodušit do tvaru

$$d = \frac{2 \cdot v_0^2}{g} \cdot \sin 2\alpha \quad (12)$$

Pokud se nad tímto vztahem zamyslíme, je zjevné, pro jaký úhel bude při stejné velikosti počáteční rychlosti, délka vrhu největší. Člen  $(\sin 2\alpha)$  může nabývat největší hodnoty 1, což nastává pro  $\alpha = 45^\circ$ . Délka vrhu bude mít tedy největší hodnotu při elevačním úhlu  $45^\circ$ . [1],[2]

### 2.2.4 Vliv prostředí

Všechny předchozí úvahy jsme prováděli ve vakuu. V reálném prostředí však budou nastávat jisté odchylky. Pro malé počáteční rychlosti tělesa nebudou rozdíly značné. S rostoucí rychlostí je však vliv prostředí již nezanedbatelný. Prostředí klade tělesu jistý odpor, který způsobuje zakřivení pravidelné parabolické křivky původní trajektorie tělesa v tzv. balistickou křivku (Obr. 2). Vztahy pro popis pohybu již nejsou adekvátní a nelze je proto použít. Odporová síla, jež působí na těleso, závisí na tvaru tělesa, hustotě prostředí a rychlosti tělesa. Pro malé rychlosti je síla přímo úměrná rychlosti, pro střední rychlosti přímo úměrná druhé mocnině rychlosti a od rychlosti šíření zvuku v prostředí výše již třetí mocnině. Z těchto důvodů je patrné, proč lze zanedbat odpor prostředí jen při malých rychlostech [1].



Obr. 2: Srovnání trajektorií šikmého vrhu ve vakuu (1) a ve vzduchu (2)

## 2.3 Volný pád

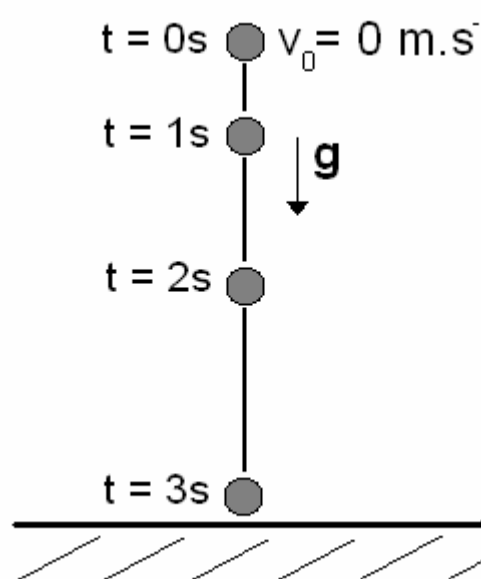
### 2.3.1 Úvod

Volný pád je jev, jehož důsledky pocítujeme každodenně. Často si jeho důsledků povšimneme, když něco nechtěně upustíme. Tento jev si také zahrál ve známé historce o spadlém jablku ze stromu, jež dopadlo na hlavu I. Newtona a ten si tím uvědomil gravitační zákonitosti. Můžeme tedy s nadsázkou říct, že volný pád posunul výzkum kupředu.

### 2.3.2 Popis pohybu

Volný pád je zvláštní případ rovnoměrně zrychleného pohybu s nulovou počáteční rychlostí. Jedná se o pohyb volně puštěného tělesa v blízkosti povrchu Země (Obr. 3). Odpor vzduchu budeme pro zjednodušení zanedbávat. Trajektorie tohoto pohybu je část svislé přímky.

Síla, která těleso uvádí do pohybu, je síla tíhová. Tuto sílu vyvolává tíhové pole Země. Zrychlení, s kterým se bude těleso pohybovat, se nazývá tíhové zrychlení. Vektor tohoto zrychlení určuje na daném místě zemského povrchu svislý směr. Jeho označení je  $\mathbf{g}$  a jeho velikost závisí na zeměpisné poloze a nadmořské výšce. Pro naši zeměpisnou šířku v blízkosti povrchu Země byla naměřena velikost tíhového zrychlení  $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ . Aby bylo možné počítat na celém světě se stejnou hodnotou, byla dohodou stanovena velikost normálního tíhového zrychlení na hodnotu  $g_n = 9,806\,65 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$  [1].



Obr. 3 : Volný pád tělesa s nulovou počáteční rychlostí

### 2.3.3 Matematický popis

Pro velikost okamžité rychlosti  $v$  v čase  $t$  platí vztah

$$v = g \cdot t. \quad (13)$$

Pro okamžitou hodnotu dráhy  $s$ , kterou těleso urazilo od vypuštění, platí vztah

$$s = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2. \quad (14)$$

Často známe výšku tělesa nad povrchem Země a zajímá nás doba, za kterou dopadne na zemský povrch. Tuto dobu lze určit vyjádřením času  $t$  z rovnice pro dráhu (14). Tudiž platí

$$t_p = \sqrt{\frac{2 \cdot s}{g}}, \quad (15)$$

kde  $t_p$  je doba pádu.

Dosazením tohoto času do vztahu pro výpočet velikosti okamžité rychlosti, dostáváme velikost dopadové rychlosti:

$$v_d = \sqrt{2 \cdot g \cdot s} \cdot [1] \quad (16)$$

### 2.3.4 Vliv prostředí

Pokud bychom nezanedbali odpor vzduchu museli bychom počítat s odporovou silou, pro kterou byl I. Newtonem odvozen vztah, podle kterého je odporová síla přímo úměrná druhé mocnině rychlosti. Při určité hodnotě rychlosti bude odporová a tíhová síla v rovnováze. Dochází tedy k velmi zajímavému a pro někoho možná překvapivému výsledku a totiž, že rychlost padajícího tělesa od této hodnoty již nebude narůstat a bude konstantní. Říkáme, že těleso dosáhlo mezní rychlosti v daném prostředí.



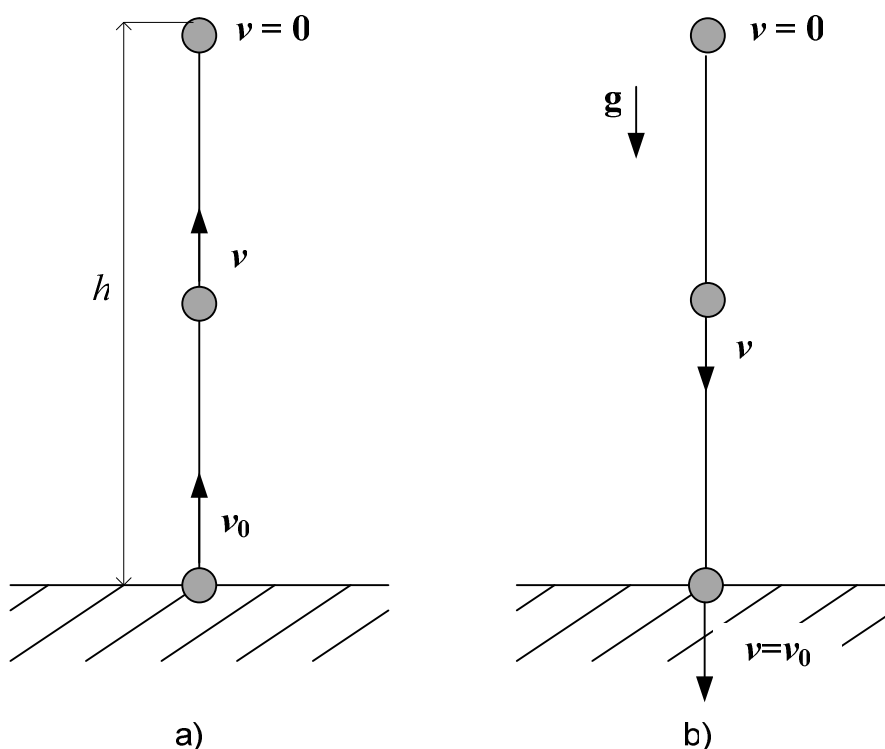
## 2.4 Svislý vrh vzhůru

### 2.4.1 Úvod

Svislý vrh není v praxi příliš častým jevem, protože základní podmínkou je přesně svislý směr počáteční rychlosti. Při odchýlení od svislého směru vrh přechází v šikmý vrh. Situaci, kdy je například možné pozorovat svislý vrh, je dítě, které si samo hází a chytá míč. Po několika nadhozech dítě pochopí, že pokud se mu podaří hodit míč přímo nad sebe, tedy ve svislém směru, míč se mu podaří chytit aniž by se muselo pohybovat. Je mu také brzy jasné, že čím dá do hodu větší sílu (vyšší hodnota počáteční rychlosti), tím poletí míč výše. Zároveň bude pro dítě těžší ho znovu chytit, poněvadž se bude pohybovat směrem k zemi rychleji. Tyto vlastnosti jsou pro svislý vrh charakteristické.

### 2.4.2 Popis pohybu

Svislý vrh vzhůru koná těleso, které je vrženo počáteční rychlostí  $v_0$  opačného směru než je směr tíhového zrychlení  $g$ . Celý pohyb je tedy složen ze dvou dílčích pohybů, a to pohybu rovnoměrně zpomaleného (Obr. 4a) a volného pádu (Obr. 4b). Velikost okamžité rychlosti tělesa v první fázi pohybu z důvodu působení tíhové síly klesá až k nulové hodnotě, které nabývá v maximální výšce dráhy tělesa. Poté těleso začne po stejné trajektorii klesat. Velikost okamžité rychlosti narůstá, její směr je však nyní již opačný, tedy stejný jako směr tíhového zrychlení  $g$ . [1]



Obr. 4: Trajektorie svislého vrhu v ideálním prostředí rozložena na 2 dílčí pohyby – a) rovn. zpomalený pohyb, b) volný pád

### 2.4.3 Matematický popis

Pro velikost okamžité rychlosti  $v$  tělesa od počátku pohybu platí

$$v = v_0 - g \cdot t. \quad (17)$$

Pro okamžitou výšku  $y$  v čase  $t$  od počátku pohybu platí vztah

$$y = v_0 \cdot t - \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 \quad (18)$$

Maximální výška, do které těleso vystoupá nazýváme výška výstupu  $h$ . Jak již bylo řečeno, v této výšce je velikost okamžité rychlosti nulová  $v_h = 0$ . Proto platí rovnost

$$v_0 - g \cdot t_h = 0, \quad (19)$$

ze které vyjádříme dobu výstupu  $t_h = \frac{v_0}{g}$ . Dosazením doby výstupu  $t_h$  do vztahu pro okamžitou výšku  $y$  obdržíme vztah pro výšku výstupu :

$$h = v_0 \cdot t_h - \frac{1}{2} \cdot g \cdot t_h^2 = \frac{v_0^2}{2 \cdot g}. \quad (20)$$

Doba  $t_d$ , za kterou těleso dopadne z výšky výstupu  $h$  zpět do počáteční polohy je shodná s dobou výstupu  $t_d = t_h$ . Pokud dosadíme dobu  $t_d$  do vztahu pro rychlost

$$v = g \cdot t_d = g \cdot \frac{v_0}{g} = v_0, \quad (21)$$

zjistíme, že velikost rychlosti s jakou těleso dopadne má stejnou hodnotu jako velikost počáteční rychlosti  $v_0$ . [1]

## 2.4.4 Vliv prostředí

Pokud budeme předpokládat svislý vrh vzhůru v reálných podmínkách Země, nebudou odvozené rovnice popisovat děj přesně. Do hry vstupují další vlivy, z nichž nejvýznamnější je odpor vzduchu. Ten způsobí zmenšení hodnoty výšky výstupu a nebude již také platit rovnost velikostí dopadové a počáteční rychlosti. Dalším vedlejším vlivem je nekonstantní povaha velikosti tíhového zrychlení, jež se mírně mění se zeměpisnou šířkou a nadmořskou výškou.

## 2.5 Vodorovný vrh

### 2.5.1 Úvod

S vodorovným vrhem se člověk setkává v mnoha oblastech. S vývojem nového bojového prostředku – letadla – se znalost vlastností vodorovného vrhu stal klíčovým prvkem pro úspěch jednoho z typů, a to bombardérů. Pro vzdálenost, ve které vypustit bombu na cíl, byla důležitá přesná znalost rychlosti letadla a výšky nad cílem. Oba tyto parametry jsou, jak později uvidíme v matematickém odvození klíčové pro dolet vrženého tělesa.

V reálných podmínkách budou vstupovat do hry ještě další vlivy včetně nejvýznamnějšího z nich – odporu vzduchu. Ve výše zmíněném příkladu odhazování bomby muselo být počítáno samozřejmě s reálným prostředím. Kvantitativně ale odpor vzduchu pro různé oblasti nelze určit. Proto se tento vliv určoval na základě určitých zprůměrovaných hodnot získaných při odlišných podmínkách. (dle zkušeností). V dalším popisu se budeme věnovat vodorovnému vrhu v ideálním prostředí (vakuu).

### 2.5.2 Popis pohybu

Vodorovný vrh koná těleso, kterému je udělena počáteční rychlost  $v_0$  ve vodorovném směru v nenulové výšce nad zemským povrchem v tíhovém poli Země. Je složen ze dvou pohybů, a to rovnoměrného přímočarého ve vodorovném směru a volného pádu ve svislém směru. Trajektorií vodorovného vrhu je část paraboly, jejíž vrchol se nachází v místě vrhu.[1]

### 2.5.3 Matematický popis

Jestliže zvolíme souřadnicovou soustavu  $Oxy$  tak, že pro souřadnice místa vrhu bude platit  $x_0 = 0$ ,  $y = h$  a počáteční rychlost  $v_0$  bude mít směr osy  $x$  viz Obr. 5, pak pro souřadnice bodu, v němž se bude těleso nacházet za dobu  $t$  od počátku pohybu, budou platit vztahy

$$x = v_0 \cdot t, \quad (21)$$

$$y = h - \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2. \quad (22)$$

Vzdálenost ve směru osy  $x$ , ve které těleso dopadne na zemský povrch, nazýváme délka vrhu  $d$ . Pro souřadnice bodu tělesa nacházejícího se v této vzdálenosti platí  $x = d$ ,  $y = 0$ . Dosazením této hodnoty do vztahu pro okamžitou hodnotu souřadnice  $y$  dostáváme

$$0 = h - \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 \quad (23)$$

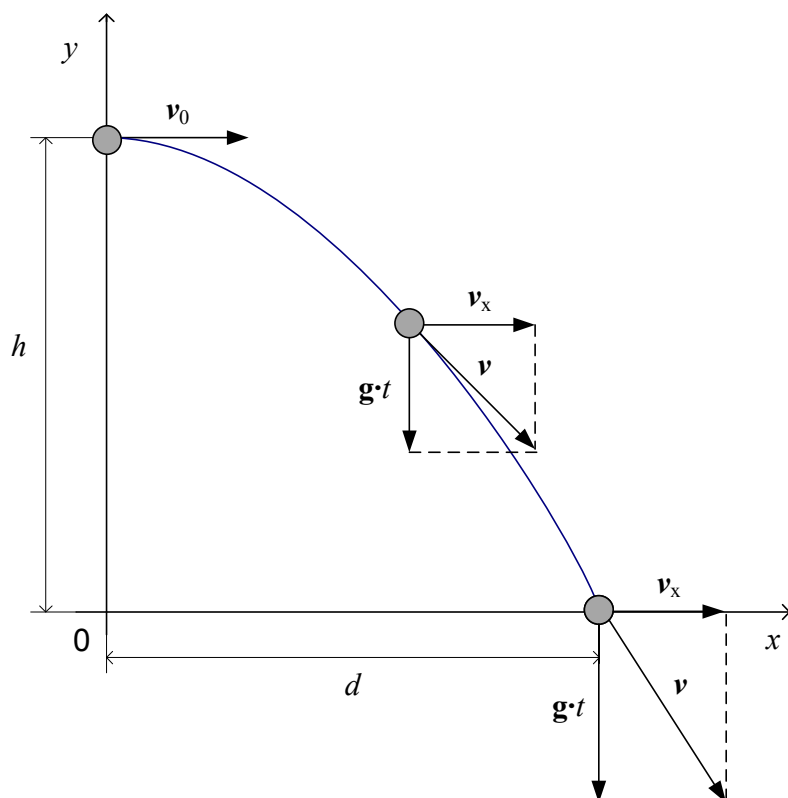
a vyjádřením času, dobu pohybu

$$t_d = \sqrt{\frac{2 \cdot h}{g}}. \quad (24)$$

Po dosazení do vztahu pro okamžitou hodnotu souřadnice  $x$ , získáme vztah pro délku vrhu

$$d = v_0 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot h}{g}}. \quad (25)$$

Délka vrhu je tedy závislá na velikosti počáteční rychlosti  $v_0$  a počáteční výšce, z níž je těleso vrženo. [1]



Obr. 5: Trajektorie vodorovného vrhu v ideálním prostředí

### 2.5.4 Vliv prostředí

Odpor vzduchu bude způsobovat změnu trajektorie tělesa. Těleso bude konat ve vodorovném směru nerovnoměrně zpomalený pohyb. Ve svislém směru budou pro těleso platit stejná pravidla jako pro volný pád v odporovém prostředí. Na celkovou rychlost bude tedy mít stále větší vliv svislá složka vektoru celkové rychlosti. Délka vrhu bude menší, doba pohybu delší.

## 2.6 Harmonický pohyb

### 2.6.1 Frekvence a kmitočet

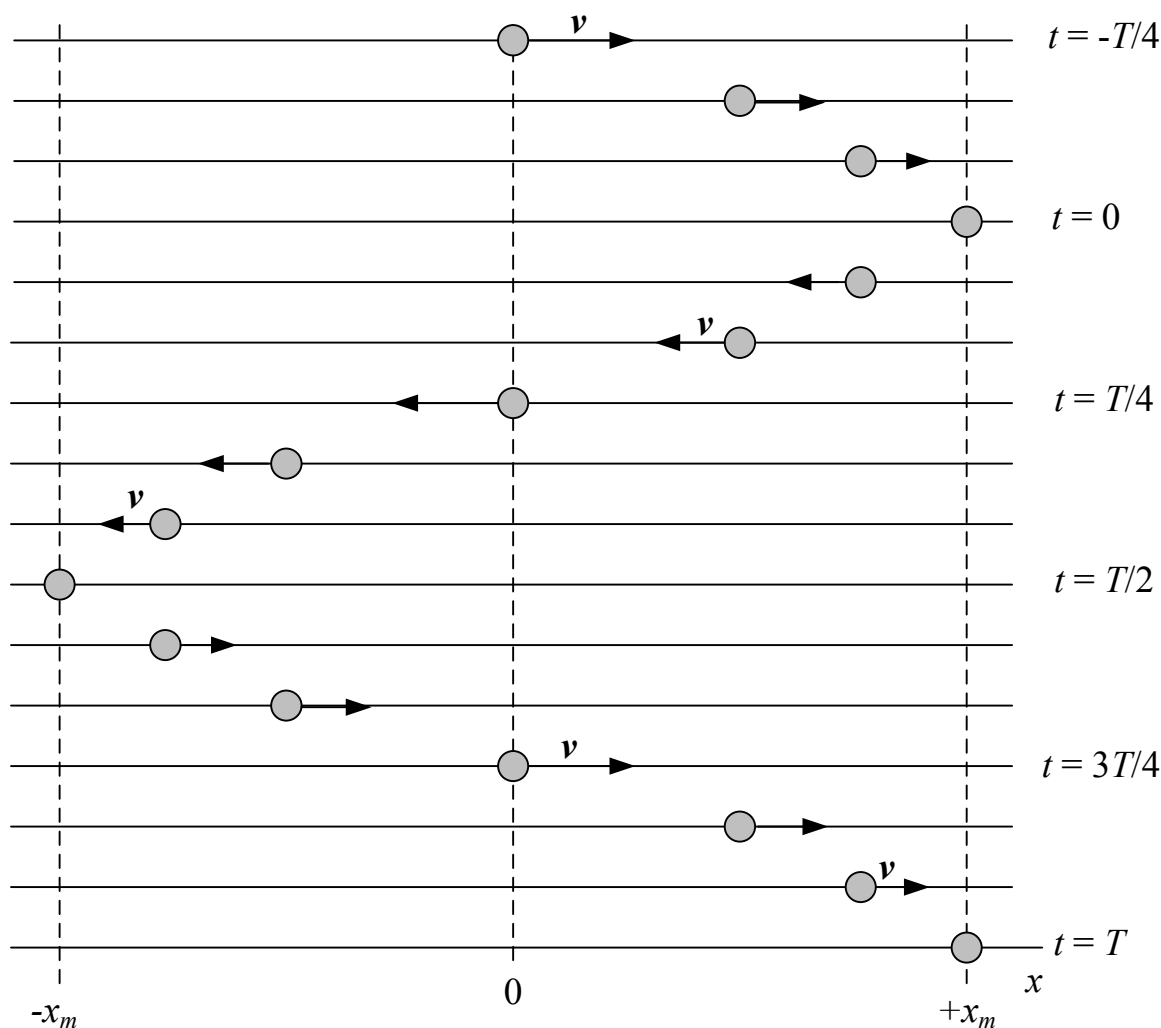
Při popisu harmonického pohybu jsou důležité 2 veličiny, které jsou spolu spjaté. Jsou jimi frekvence a perioda. Frekvence neboli kmitočet udává počet kmitů tělesa za dobu 1s. Frekvence se značí  $f$  a její základní jednotkou je hertz (Hz).

Převrácenou hodnotou frekvence je perioda. Ta udává dobu, za jakou proběhne jeden kmit (obecně cyklus). Perioda se značí  $T$  a základní jednotkou je sekunda (s). Platí tedy

$$T = \frac{1}{f} \cdot [1],[3] \quad (26)$$

### 2.6.2 Popis pohybu

Pohyb, který se opakuje v pravidelných intervalech (má konstantní velikost periody), se nazývá periodický. Dále si popíšeme typ pohybu, který je zobrazen na Obr. 6. Na obrázku je zobrazena poloha hmotného bodu po uplynutí stejných časových okamžiků. Hmotný bod se pohybuje kolem nulové hodnoty osy  $x$ . Jako příklad si můžeme za tímto pohybem, představit pohyb tělesa zavěšeného na ideální (bezodporové) pružině. [3]



Obr. 6: Poloha částice při harmonickém pohybu v různých okamžicích

### 2.6.3 Matematický popis

Pro tento pohyb je závislost výchylky na čase určena rovnicí

$$x = x_m \cos(\omega \cdot t + \varphi). \quad (27)$$

Veličina  $x_m$  udává největší výchylku. Závisí na počátečních podmínkách. Nazýváme ji amplituda výchylky. Výraz  $(\omega \cdot t + \varphi)$  se nazývá fáze pohybu. Veličina  $\varphi$  se nazývá počáteční fáze. Její hodnota závisí na výchylce a rychlosti hm.bodu v čase  $t = 0$ . Udává se v úhlových jednotkách, většinou v radiánech (příp. stupních).

#### Úhlová frekvence

Veličina  $\omega$  se nazývá úhlová frekvence (úhlový kmitočet). Nyní si odvodíme její hodnotu. Pro polohu částice platí, že je po uplynutí každé periody shodná. Tedy platí

$$x(t) = x(t + T) \quad (28)$$

Pokud pro jednoduchost položíme  $\varphi = 0$ , dostáváme

$$x_m \cdot \cos(\omega \cdot t) = x_m \cdot \cos(\omega \cdot t + T). \quad (29)$$

Funkce  $\cos$  má periodu  $2\pi$  rad. Úpravou předchozí rovnice tedy dostáváme

$$\omega \cdot t + 2\pi = \omega(t + T) \quad (30)$$

a odtud

$$\omega \cdot T = 2\pi, \quad (31)$$

vyjádřením úhlové frekvence:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi \cdot f. [3] \quad (32)$$

## Rychlost harmonického pohybu

Rychlost hmotného bodu získáme derivací výrazu pro souřadnici. Tedy:

$$v = \frac{dx}{dt} = \frac{d}{dt}(x_m \cos(\omega \cdot t + \varphi)). \quad (33)$$

Takže pro rychlost platí

$$v = -\omega \cdot x_m \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi). \quad (34)$$

Výraz  $(\omega \cdot x_m)$  se nazývá amplituda rychlosti  $v_m$ . Časový průběh rychlosti se také periodicky mění, na rozdíl od průběhu souřadnice je však fázově posunuta o čtvrtinu doleva. [1] [3]

## 2.7 Jazyk C++

Jazyk C++ vychází z jazyka C, byl vyvinut v 80. letech v Bellových laboratořích AT&T. Umožňuje několik programovacích technik, z nichž je nejvýznamnější objektově orientované programování (OOP). Označení C++ má zdůrazňovat, že je rozšířením jazyka C. Dnes je jazyk C++ nejrozšířenějším programovacím jazykem.

### 2.7.1 Objektově orientované programování (OOP)

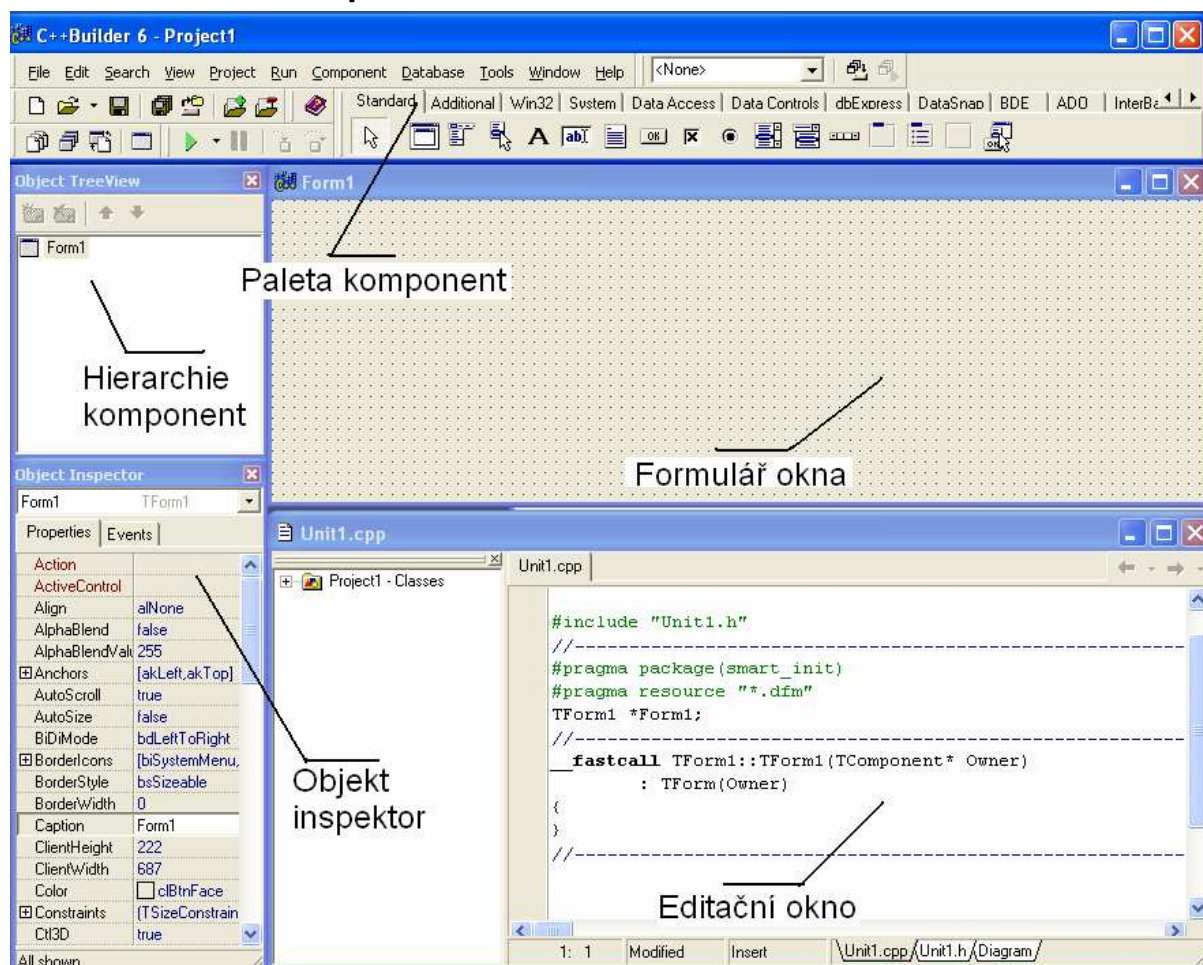
Základním stavebním kamenem jazyka C++ jsou objekty. Objekt má vždy svou jednoznačnou identitu a určité vlastnosti. Z vnějšího pohledu lze na objekty pohlížet jako na černé skříňky. Co se děje uvnitř objektu není pro programátora významné. Důležité je chování objektu navenek. Objekty poskytují služby jiným objektům a naopak po nich služby požadují. K podání požadavku slouží tzv. zpráva. Pokud objekt obdrží zprávu a rozumí jí, vykoná svou metodu. Jestliže jí nerozumí nereaguje na ni, příp. podá hlášení o tom, že nemůže zprávu přijmout. Program napsaný v OOP je tedy množinou objektů komunikujících mezi sebou pomocí zpráv. Podobné objekty se sdružují do tříd. Tyto objekty se pak nazývají instance dané třídy. Jednotlivé třídy mezi sebou mohou mít různé vztahy. Jsou to agregace – např. pokud třída A agreguje třídu B, tak instance třídy A obsahují instance třídy B, asociace – např. pokud třída A asociuje třídu B, tak instance třídy A mohou používat některé instance třídy B, naopak tomu tak ale nemusí být, dědičnost – třída A bude dědit ze třídy B, pokud je třída A podmnožinou třídy B, instance třídy A budou zároveň instancemi třídy B, naopak tomu tak ale nemusí být [5],[6],[7].

## 2.8 C++ Builder 6

Toto vývojové prostředí bylo představeno společností Borland v roce 2002. Je logickým následovníkem C++ Builder verze 5. Jedná se o prostředí určené pro vývoj aplikací pod operačním systémem Windows v jazyce C++. Umožňuje vytvářet Win32 konzolovou aplikaci nebo Win32GUI aplikaci. Zkratka Win32 označuje 32bitovou aplikaci pro OS Windows. Konzolová aplikace nám může připomínat prostředí OS DOS. Vstup takové aplikace je s klávesnice, výstup je na obrazovku. Výhodou těchto aplikací je malé zatížení paměti. Na to se však v současné době příliš nehledí díky velkým hardwarovým možnostem současných počítačů. Dnes se tedy vytváří především GUI aplikace, což jsou aplikace s grafickým

uživatelským prostředím. Frameworkem, který se používá v Builderu je knihovna VCL (Visual Component Library). [4]

## 2.8.1 Základní okna prostředí



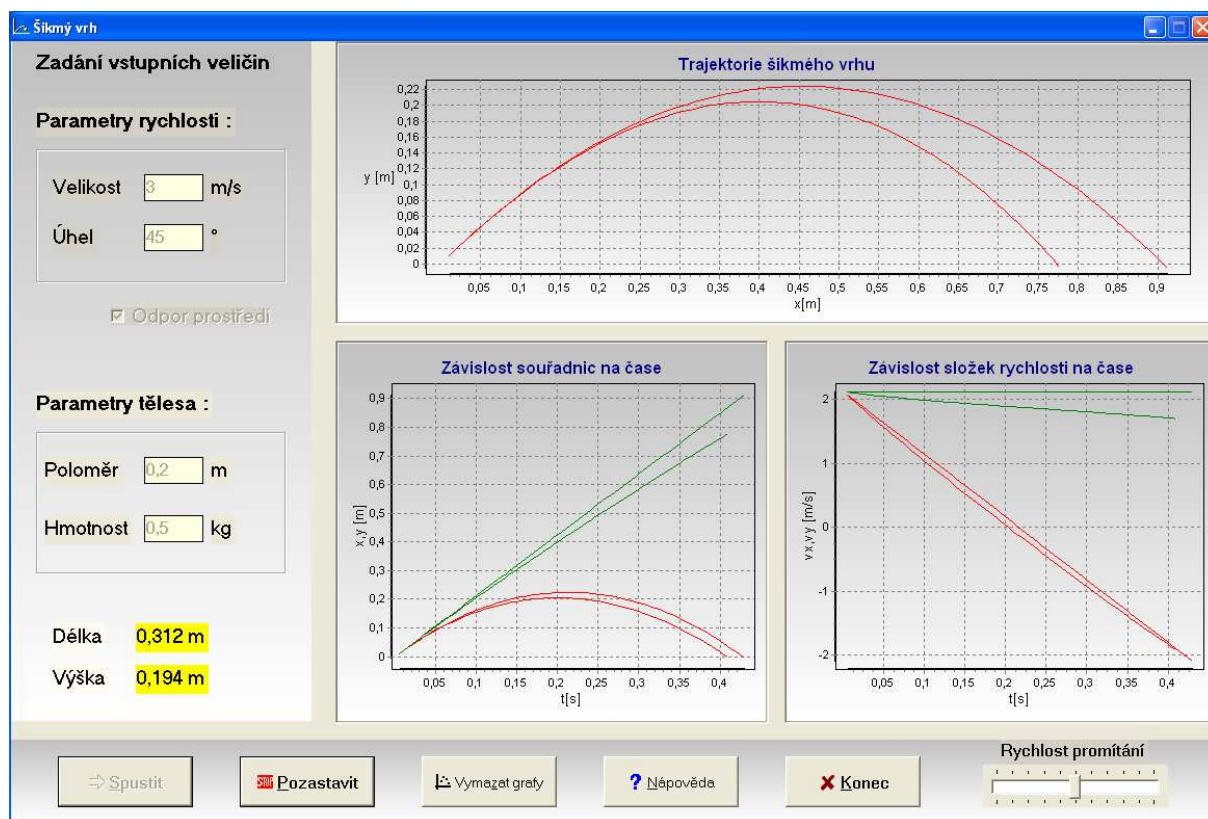
**Obr. 7: Popis základních oken vývojového prostředí C++ Builder 6**

Formulář okna (Form1) je šablonou hlavního okna spuštěné aplikace. K tomu, aby program mohl používat některé grafické objekty, stačí vložit do tohoto formuláře některou z nabízených komponent. Ke snadnějšímu zarovnání objektů slouží rastr, který je na pozadí okna. Ten není zobrazován po spuštění aplikace. Komponenty jsou pro přehlednost rozděleny do skupin, umístěny jsou v části označené paleta komponent. Objekt inspektor má dvě záložky. V první se nastavují vlastnosti objektu (velikost, jméno, barva, font písma, ...). Ve druhé je možné vložit reakci na určitou událost objektu (OnClick, OnEnter, OnExit). Vlastnosti i události se samozřejmě s každým objektem různí. Okno hierarchie komponent ukazuje provázanost objektů, některé objekty mohou být totiž nadřazeny jiným. Do editačního okna se automaticky vytvoří kostra GUI aplikace. Dopisuje se jen kód, který je potřebný pro další vyžadované funkce aplikace. V pravém horním rohu nalezneme ikony, jejichž funkce souvisí s aplikací jako celkem, tedy např. uložení, kompilace, spuštění aplikace [4],[7].

## 3 Praktická část

### 3.1 Základní koncept

Cílem je vytvoření simulačního prostředí, které bude pro uživatele snadno ovladatelným a přehledným. Z postupného vykreslování závislostí veličin a možného přerušování běhu, by se měla probíraná látka stát rychleji pochopitelnou a lépe zvládnutelnou. Rozmístění prvků v hlavním okně bude pro všechny zkoumané jevy přibližně stejné. Práce s prostředím tedy bude snadná a postupně se bude stávat intuitivní. V levé části hlavního okna budou umístěny komponenty pro zadávání vstupních parametrů. Ovládací prvky programu se budou nacházet v dolní části okna. Většinu hlavního okna budou vždy tvořit grafy závislostí měřených veličin. V simulacích bude možné srovnávat průběhy jevů v idealizovaných i reálných podmínkách. První oblastí, jež je věnována pozornost jsou vrhy v tíhovém poli Země. Na aplikaci simulující šikmý vrh budou vysvětleny všechny tyto bloky. Ovládání je pro všechny aplikace stejné, takže bude vysvětleno jen jednou.



Obr. 8: Hlavní okno simulace šikmého vrhu

### 3.2 Simulační aplikace

Program vychází ze starší aplikace Fámulus, která již není pro výuku postačující. Hlavním problémem je nemožnost umístění na internet. Proto byly vytvořeny aplikace v jazyce C++ s grafickým uživatelským prostředím. Kromě přehledného a uživatelsky pohodlnějšího prostředí bude programy možné umístit na web. Zadávání hodnot veličin, ovládání programu i zobrazení výsledku probíhá v jednom hlavním okně.



### 3.2.1 Aplikace Šikmý vrh

#### Zadávání vstupních parametrů

Panel pro zadávání vstupních veličin se nachází v levé části hlavního okna (Obr. 9). První veličinou je počáteční rychlost tělesa. Zadává se velikost v m/s v rozmezí 0-300 a úhel, který svírá vektor rychlosti s vodorovným směrem. Jeho hodnota může být v rozmezí  $0^\circ$  -  $90^\circ$ . Je možné zadat i krajní hodnoty, čímž sice není splněna podmínka pro šikmý vrh, ale tyto hodnoty poslouží jako demonstrace přechodu do jiných dějů. Neoznačením položky Odpor prostředí nebude pohyb tělesa ovlivněn odporem prostředí a pohyb tělesa bude odpovídat pohybu ve vakuu. Označením této položky se vezme v potaz odpor prostředí, kterým bude vzduch o hustotě  $1 \text{ kg/m}^3$ . Těleso, jež je vrženo, je kulového tvaru. Jeho poloměr se zadává v metrech v dalším bloku. Dalším parametrem tělesa, který pohyb ovlivňuje, je hmotnost, která se zadává v kilogramech. V této části se také nachází dvě položky, které zobrazují aktuální hodnoty vertikální a horizontální vzdálenosti, kterou těleso urazilo od počátku vrhu. Délka po dokončení vrhu ukazuje délku vrhu (dolet).

Šikmý vrh

**Zadání vstupních veličin**

**Parametry rychlosti :**

Velikost 3 m/s

Úhel 45 °

☒ Odpor prostředí

**Parametry tělesa :**

Poloměr 0,2 m

Hmotnost 0,5 kg

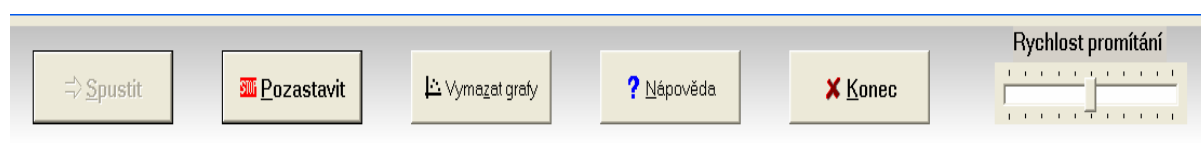
Délka 0,312 m

Výška 0,194 m

Obr. 9: Panel pro zadávání veličin

#### Ovládání programu

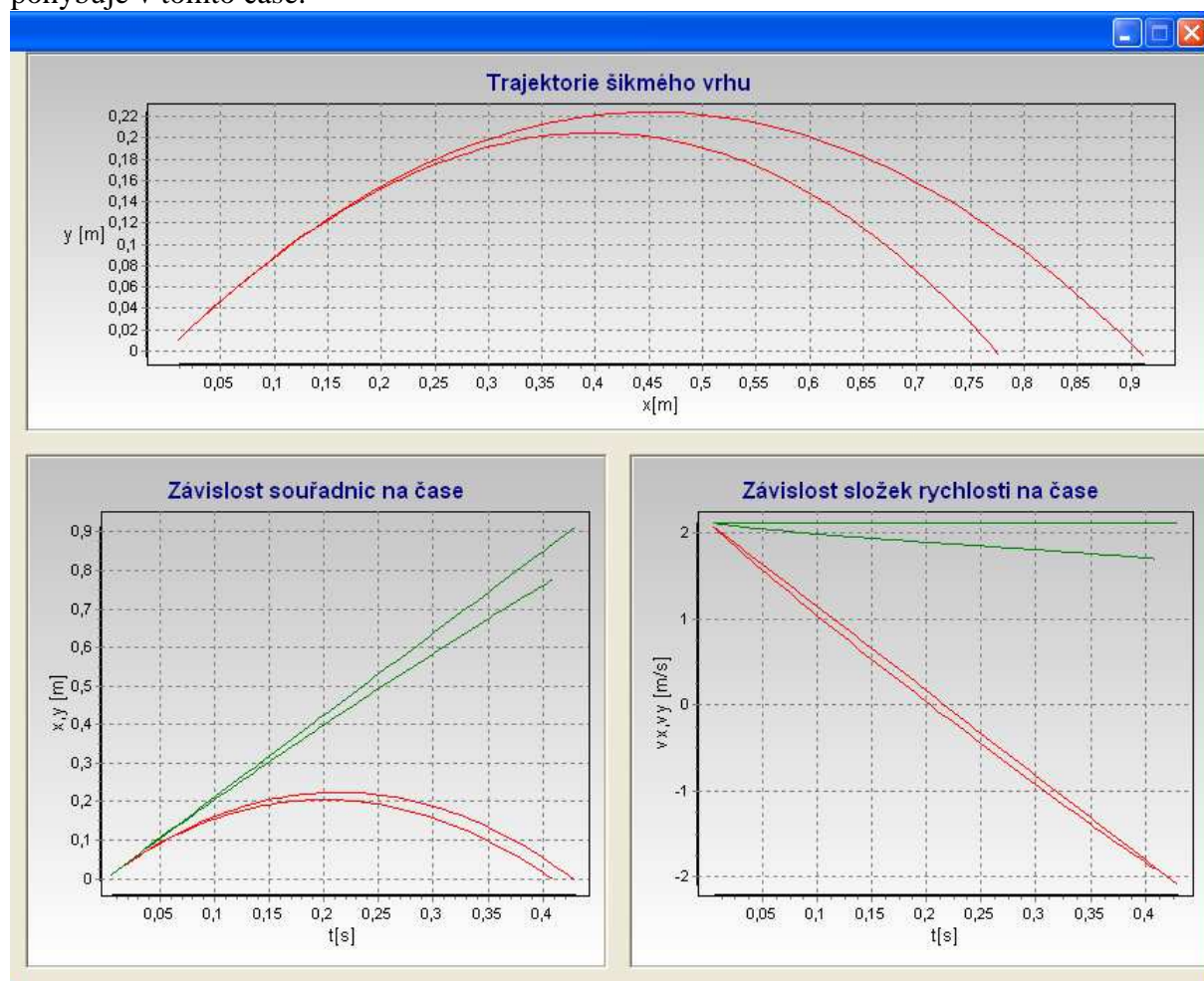
Ovládací prvky aplikace se nachází v dolní části hlavního okna (Obr. 10). Po zadání požadovaných hodnot vstupních veličin lze spustit simulaci kliknutím na tlačítko „Spustit“ nebo stisknutím klávesy „s“ , „Enter“. Simulaci lze v průběhu vykreslování pozastavit a znovu spustit. Děje se tak pomocí tlačítka „Pozastavit“ („Pokračovat“) či pohodlněji klávesou „p“ nebo „Enter“. Další tlačítko („Vymazat grafy“) slouží k vyčištění ploch grafů z předchozích průběhů. Také smaže hodnoty délky a výšky vrhu předchozího běhu. Mazat grafy je možné i během probíhající simulace. Tlačítkem „Nápověda“ se spouští nápověda aplikace. „Konec“ ukončuje aplikaci. Ukončit aplikaci lze také stiskem klávesy „ESC“. Posuvníkem „Rychlost promítání“ lze zrychlovat nebo zpomalovat vykreslování grafů. Nejrychlejší bude vykreslování v pravé krajní hodnotě.



Obr. 10: Ovládací prvky programu

## Zobrazení výsledků

Výsledky simulace tvoří většinu hlavního okna (Obr.11). Tvoří ho 3 grafy. Horní z nich ukazuje závislost výšky vrhu na délce vrhu a jedná se tedy o trajektorii vrhu. Ze zákonitostí vrhu vyplývá, jakých výsledků zde bude dosahováno. Pro vrh v prostředí se zanedbatelným vlivem prostředím se vykreslí část paraboly s vrcholem v polovině délky vrhu. Za předpokladu odporu prostředí bude trajektorií balistická křivka. Těleso bude dosahovat menší výšky i délky při stejných hodnotách počáteční rychlosti než při prostředí bez odporu. Dolní levý graf zobrazuje závislost souřadnic  $x$  a  $y$  na čase. Zelená barva patří souřadnici  $x$ , červená barva souřadnici  $y$ . Pro simulaci v prostředí bez odporu bude souřadnice  $x$  lineárně záviset na čase  $t$ , průběh závislosti souřadnice  $y$  na čase  $t$  bude podobný průběhu trajektorie. V prostředí s odporem se bude průběh závislostí lišit, průběh pro souřadnici  $x$  se bude lehce zakřivovat, pro průběh souřadnice  $y$  dochází k „protažení“ závislosti. Dolní pravý graf ukazuje závislost velikosti složek rychlostí  $v_x$  a  $v_y$  na čase. Při zanedbání odporu prostředí bude průběh pro složku  $v_x$  konstantní funkce o hodnotě rovné počáteční hodnotě  $v_{0x}$ . Pro složku  $v_y$  bude průběhem lineárně klesající funkce s počátečním bodě rovném hodnotě  $v_{0y}$ . Hodnota koncového bodu bude rovna v absolutní hodnotě počátečního bodu, z čehož vyplývá zajímavý jev, že těleso dopadne se stejně velkou rychlostí ve svislém směru jakou bylo vrženo v tomto směru. Při simulaci v reálném prostředí již velikost  $v_x$  s časem klesá,  $v_y$  již klesá nelineárně. Vektorovým součtem těchto rychlostí v jakémkoli čase je vektor rychlosti, kterou se těleso pohybuje v tomto čase.



Obr. 11: Grafy zobrazující výsledky simulace

### 3.2.2 Aplikace Volný pád

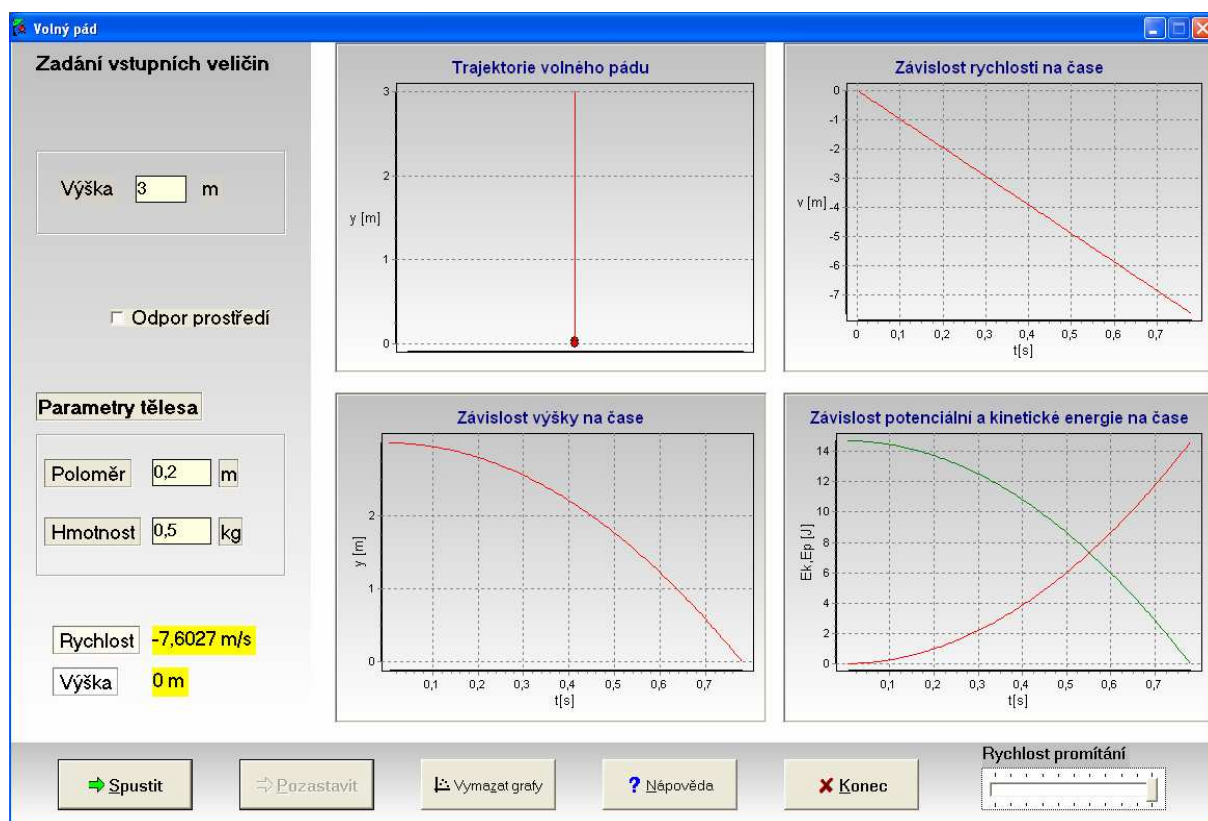
#### Zadávání vstupních parametrů

Základní veličinou pro simulaci volného pádu je výška tělesa nad zemským povrchem, ze které je těleso vypuštěno s nulovou počáteční výškou. Rozsah výšky, ve kterém je možné simulovat je 0-1800 m. Položka „Odpor prostředí“ má stejnou funkci jako u šikmého vrhu, viz 3.2.1. Poloměr i hmotnost tělesa je možné zadávat v dalším bloku popisující parametry tělesa. V dolní části bloku se nachází položky, které zobrazují aktuální rychlost tělesa v m/s a výšku tělesa nad zemským povrchem v metrech. Rychlost tělesa má kladný směr osy  $y$  v souřadnicové soustavě  $Oxy$ , takže velikost rychlosti je záporná.

#### Zobrazení výsledků

Výsledky simulace je možné sledovat ve čtyřech grafech, jež tvoří hlavní část okna. Jsou to tyto závislosti:

- Trajektorie pohybu – horní levý graf. Trajektorií je vertikální úsečka spojující počáteční výšku tělesa s nulovou hodnotou výšky.
- Závislost rychlosti na čase – horní pravý graf. Pro bezodporové prostředí bude výsledkem lineární průběh s počátkem v nule. V odporovém prostředí se nárůst velikosti rychlosti bude snižovat s rostoucím časem. Od hodnoty mezní rychlosti se rychlost již zvyšovat nebude.
- Závislost výšky na čase – dolní levý. Výška tělesa klesá s druhou mocninou času, tudíž výsledkem bude část paraboly s vrcholem v počáteční výšce. V odporovém prostředí bude průběh mírně odchýlen.
- Závislost potenciální a kinetické energie – dolní pravý. Zelenou barvou potenciální energie, červenou kinetická. V bezodporovém prostředí nedochází ke ztrátám energie, tudíž potenciální energie bude přecházet v kinetickou. Oba průběhy jsou parabolické, navzájem opačné.



Obr. 12: Hlavní okno aplikace Volný pád

### 3.2.3 Aplikace Svislý vrh

#### Zadávání vstupních parametrů

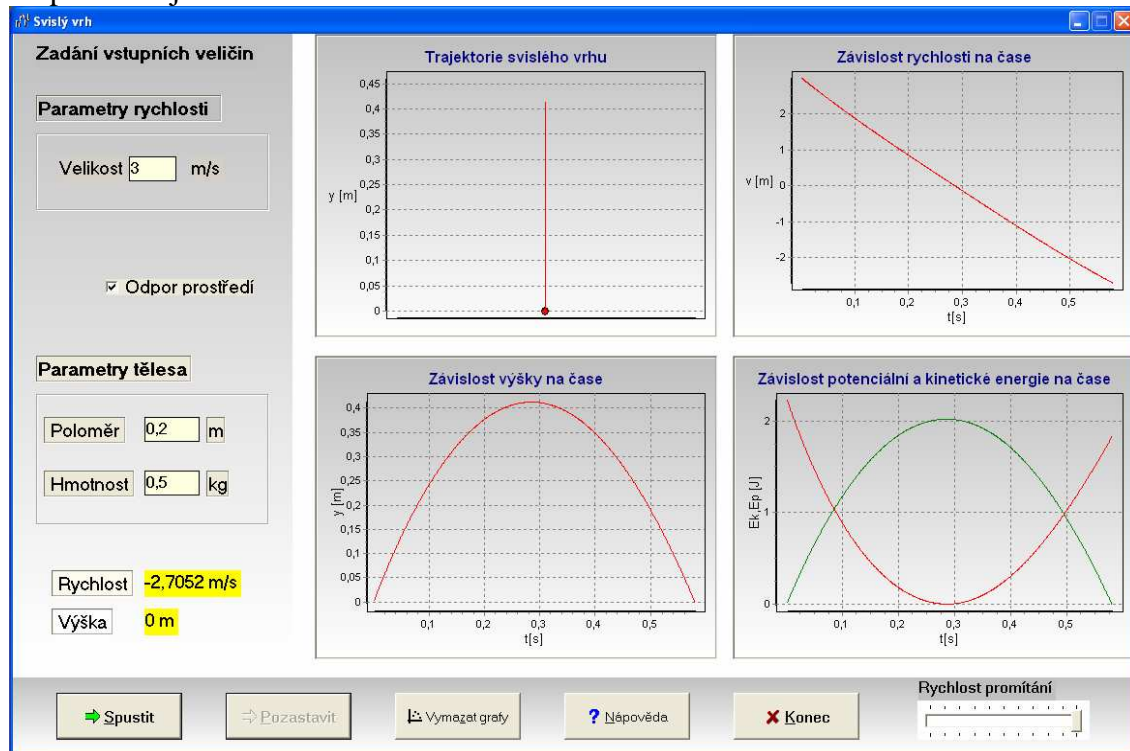
Vstupní veličinou, která je pro průběh svislého vrhu vzhůru určující, je velikost počáteční rychlosti tělesa, jež mu je udělena. Směr poč. rychlosti je v kladném směru osy  $y$  v souřadné soustavě  $Oxy$ . Rozsah velikosti rychlosti, ve které je možné simulovat, je 0-300 m/s. Položka Odpor prostředí má stejnou funkci jako v šikmém vrhu, viz. 3.2.1. Parametry tělesa je možné zadávat ve stejných intervalech jako v šikmém vrhu, viz 3.2.1. Dolní dvě položky zobrazují aktuální hodnotu výšky tělesa v m a velikost rychlosti v m/s. Směr rychlosti je v kladném směru osy  $y$ .

#### Zobrazení výsledků

Výsledky simulace je možné sledovat ve čtyřech grafech, jež tvoří hlavní část okna. Jsou to tyto závislosti (pořadí shora dolů, zleva doprava):

- Trajektorie svislého vrhu – Těleso nejprve stoupá ve svislém směru a poté klesá po stejné dráze. Grafem tedy bude úsečka spojující počáteční (nulovou) výšku a výšku doletu. Aktuální pozice tělesa je zobrazena červeným kruhem.
- Závislost rychlosti na čase – V bezodporovém prostředí bude výsledkem lineární klesající závislost s počátkem v hodnotě poč. rychlosti. Nulové hodnoty bude rychlost nabývat přesně v polovině vrhu. V odporovém prostředí bude průběh nelineární a pro návrat tělesa z maximální výšky budou platit stejné zákonitosti jako pro volný pád, viz 3.2.2.

- Závislost výšky na čase – Pro bezodporové prostředí bude výsledkem parabola s vrcholem v maximální výšce. V odporovém prostředí se bude průběh mírně odlišovat. Tvar zůstává stejný.
- Závislost potenciální a kinetické energie na čase – Zelenou barvou potenciální, červenou kinetická. Průběhem jsou dvě navzájem opačné paraboly, v bezodporovém prostředí jsou souměrné



Obr. 13: Hlavní okno aplikace Svislý vrh

### 3.2.4 Aplikace Vodorovný vrh

#### Zadávaní vstupních parametrů

Pro průběh vodorovného vrhu jsou hlavní (nejdůležitější) dvě vstupní veličiny. První z nich je velikost počáteční rychlosti. Její směr je vždy vodorovný. Rozsah velikostí rychlostí, v němž je možné simulovat, je 0-300 m/s. Druhou je počáteční výška tělesa nad zemským povrchem, z níž je těleso vrženo. Interval výšky, ve kterém je možné simulovat, je 0-2000 m. Pro položku Odpor prostředí a rozsahy parametrů tělesa platí stejná pravidla jako u šikmého vrhu, viz 3.2.1. Dolní položky popisují aktuální velikost rychlosti tělesa, jedná se o celkovou rychlost danou součtem rychlosti ve směru osy  $x$  a rychlosti ve směru osy  $y$ . Druhá položka popisuje aktuální výšku tělesa nad zemským povrchem.

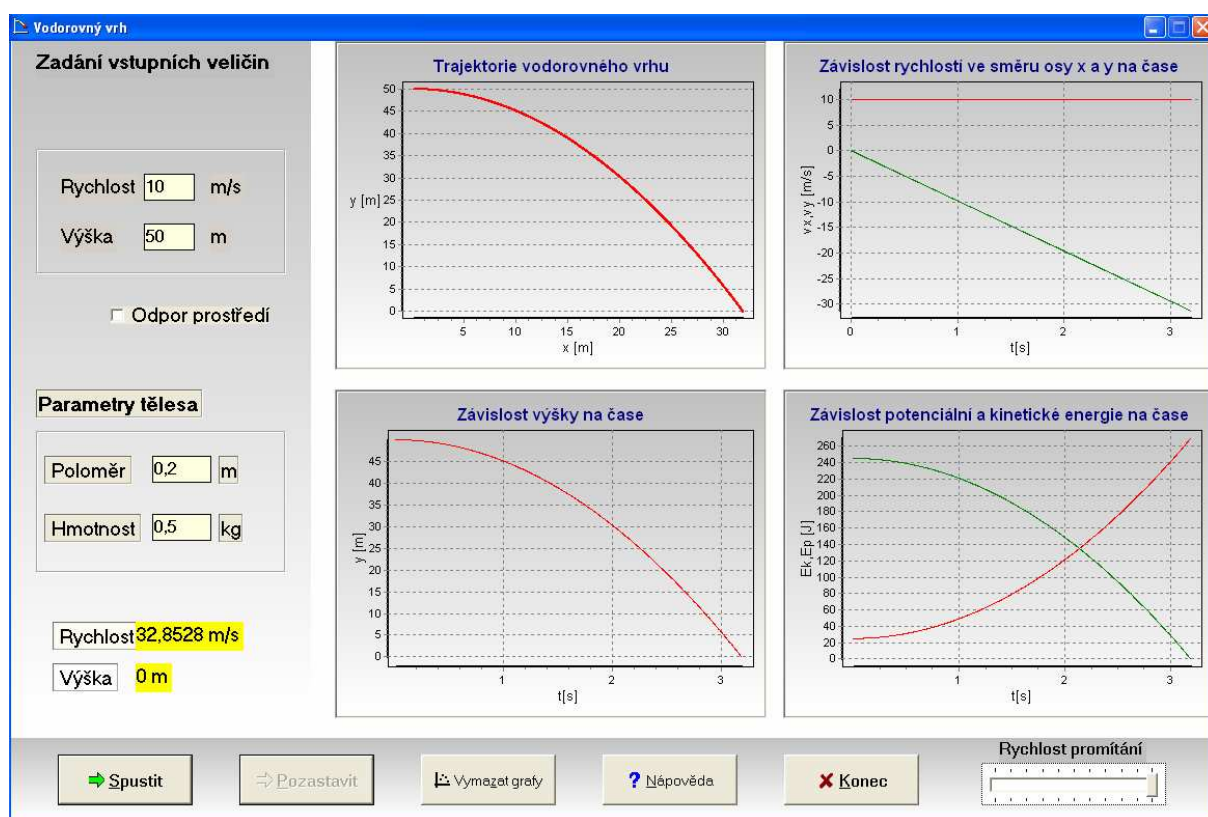
#### Zobrazení výsledků

Výsledky simulace jsou zobrazeny ve 4 grafických závislostech: (pořadí shora dolů, zleva doprava)

- Trajektorie vodorovného vrhu – výsledkem bude část paraboly s vrcholem v počáteční výšce. V odporovém prostředí je průběh odlišný. (Těleso postupně ztrácí rychlost ve vodorovném směru a jen klesá. )



- Závislost složek rychlosti na čase – červenou složka rychlosti ve směru osy  $x$   $v_x$ , zelenou ve směru osy  $y$   $v_y$ . Pro neodporové prostředí se rychlost  $v_x$  nebude měnit, průběh tedy bude konstantní funkce o hodnotě počáteční rychlosti. Velikost  $v_y$  bude postupně z nulové velikosti narůstat. Její hodnota bude mít záporné znaménko, protože směr rychlosti je v kladném směru osy  $y$ . V odporovém prostředí bude postupně  $v_x$  klesat až téměř k nulové hodnotě,  $v_y$  bude narůstat až do dovršení mezní rychlosti.
- Závislost výšky na čase – pro bezodporové prostředí bude tvar podobný trajektorii vrhu. V odporovém prostředí dochází k postupnému linearizování průběhu a přibližně od dosažení mezní rychlosti  $v_y$  je již průběh lineárně klesající funkce.
- Závislost potenciální a kinetické energie – Zelenou barvou potenciální energie, červenou kinetická. V ideálním prostředí bude potenciální energie postupně přecházet v kinetickou. V odporovém se kinetická energie tělesa příliš nemění, rychlost tělesa totiž brzy dosáhne téměř konstantní hodnoty.



Obr. 14: Hlavní okno aplikace Vodorovný vrh

### 3.2.5 Aplikace Harmonický pohyb

#### Zadávání vstupních veličin

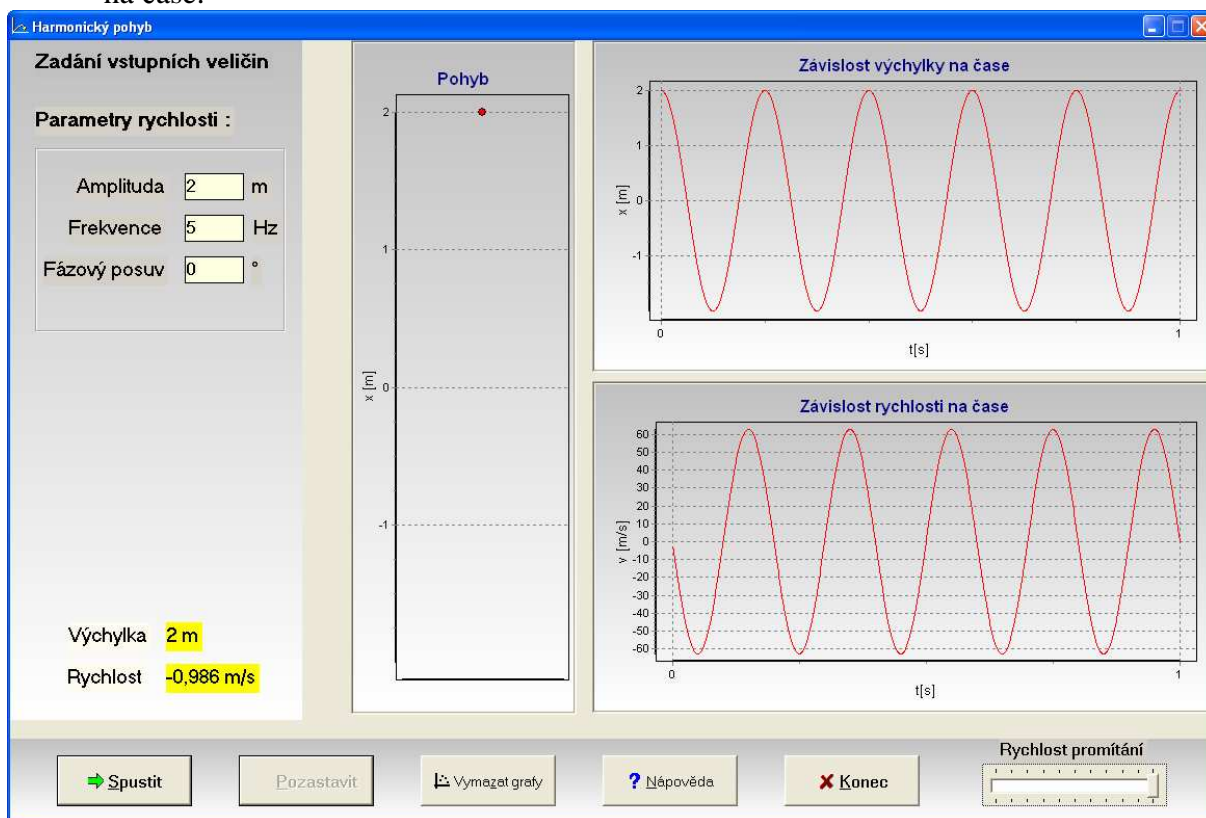
Harmonický pohyb je charakterizován třemi veličinami – amplitudou, frekvencí a fázovým posunem. Amplituda udává maximální výchylku tělesa od nulové hodnoty. Je možné ji zadávat v rozmezí od 0 do 10 000 m. Frekvence udává počet kmitů tělesa za 1 sekundu. Rozsah hodnot frekvencí, které je možné zadat, je 0-500 Hz. Fázovým posuv udává posuv funkce cosinus ve směru osy  $x$ . Udává se v úhlových stupních. Např. pro hodnotu  $+90^\circ$  bude funkce posunuta o  $\frac{1}{4} T$  doprava v kladném směru osy  $x$ . Pro hodnotu  $360^\circ$  se funkce posouvá o celou periodu, takže průběh bude stejný jako pro hodnotu  $0^\circ$ . Rozmezí zadavatelných

hodnot je tedy  $-360^\circ$  -  $+360^\circ$ . Dolní položky označují aktuální výchylku tělesa od nulové polohy a aktuální velikost rychlosti v kladném směru osy  $y$ .

## Zobrazení výsledků

Výsledky jsou zobrazeny na 3 grafických závislostech:

- Pohyb – levý graf . Zobrazuje aktuální polohu tělesa
- Závislost výchylky na čase – horní. Grafem bude křivka tvaru funkce  $\cos(x)$ , která může být posunuta v časové ose podle zadání hodnoty fázového posuvu. Kvůli přehlednosti bude zobrazeno vždy 5 period.
- Závislost rychlosti na čase – dolní. Tvar křivky stejný jako u závislosti výchylky na čase. Funkce bude však vždy posunuta o  $\frac{1}{4} T$  doleva oproti grafu závislosti výchylky na čase.



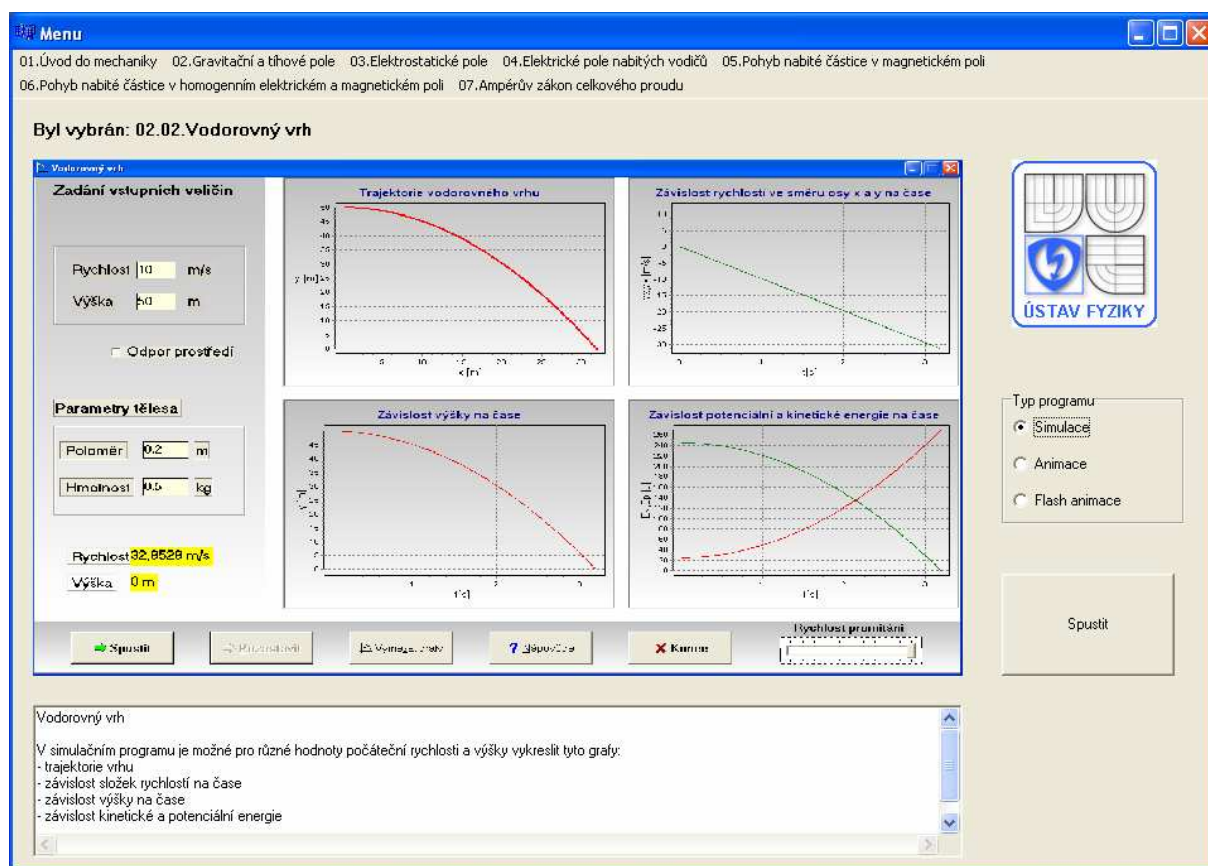
Obr. 15: Hlavní okno aplikace Harmonický pohyb

## 3.3 Program Menu

### 3.3.1 Používání programu

Program Menu vytváří prostředí pro výběr požadované aplikace. Jeho hlavní okno je na Obr.16. Uživatel si vybere z horní lišty název kapitoly, ve které se nachází požadovaný jev. Poté kliknutím na název tohoto jevu dojde k zobrazení náhledu simulačního programu uprostřed hlavního okna. Také se zobrazí několik základních informací o vybraném programu v dolní části hlavního okna. Nyní již zbývá vybrat typ programu pro studium jevu. Na výběr jsou tři možnosti :

- Simulace - aplikace vytvořená v jazyce C++ - zobrazuje grafické závislosti pro zadávané vstupní veličiny
- Animace – vytvořeny v jazyce Blender
- Flash animace – zobrazuje princip jevu ve webové aplikaci



Obr. 16: Hlavní okno aplikace Menu

### 3.3.2 Editování programu

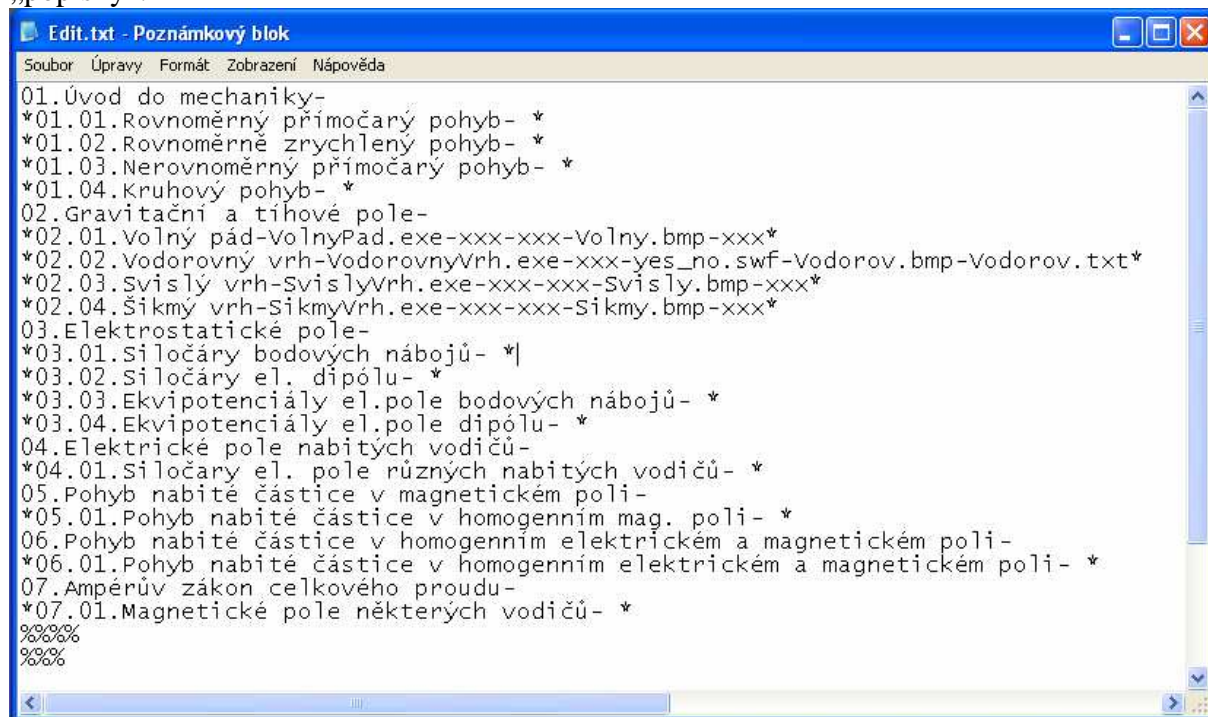
Programy pro všechny zamýšlené jevy nejsou ještě hotovy a budou postupně dodělávány. Aby je později bylo možné spouštět z tohoto menu, bylo nutné menu vytvořit takovým způsobem, aby do něj mohly být položky libovolně přidávat či odebírat. Děje se tak pomocí souboru Edit.txt, který je umístěn ve stejném adresáři jako spouštěný program. Přidávání položek je snadné, ale je nutné dodržet několik syntaktických pravidel. Na každém řádku je umístěna jedna položka. Kapitoly jsou označeny dvoumístným číslem, jež udává pořadí kapitoly. Poté následuje název kapitoly, který je ukončen pomlčkou. Znak za pomlčkou se nezobrazují. Pro syntaxi jednotlivých položek v kapitole platí mírně odlišná pravidla. Prvním znakem na řádku je hvězdička („\*“). Poté následuje dvoumístné číslo kapitoly, do níž patří položka a dvoumístné číslo určující pořadí položky. Každá položka tedy nese svoje individuální označení. Za čísla oddělenými tečkami následuje název položky, jež se zobrazí v menu. Název je ukončen pomlčkou. Poté následují názvy programů, jež bude možné při vybrání položky možné spouštět. Pořadí programů je následující: název simulačního programu, název animačního programu a název flash animace. Poté následuje název souboru s náhledem programu a název textového souboru s informacemi o programu, jež budou zobrazeny. Všechny názvy jsou odděleny pomlčkou. Celý řádek končí stejným znakem, jakým začínal, tedy hvězdičkou („\*“).

Celý seznam kapitol a položek je ukončen znaky „%%“. Znak nacházející se na řádcích pod těmito znaky nemají na editaci menu žádný vliv.

V seznamu se nesmí nacházet prázdné řádky. Pokud bude položka obsahovat jen název, tak je nutné vložit mezi pomlčku a hvězdičku nějaký znak, stačí mezera, viz Obr.17. Pokud je určitá položka nekompletní, tak na místa, která by byla prázdná je nutné vložit znaky „xxx“. Počet pomlček musí zůstat zachován.



Programy ke spuštění jsou umístěny ve složce „aplikace“, stejně jako soubory s náhledem programu. Textové soubory s popisem programu jsou umístěny ve složce „popisky“.



Obr. 17: Ukázka editačního souboru

## 4 Závěr

Cílem předložené práce bylo vytvoření uceleného systému pro výuku fyzikálních předmětů resp. jejich počítačových cvičení. Celý projekt vycházel z požadavku fyzikálních kateder po dokonalejším a názornějším systému než je současný počítačový program "Famulus". Výukový systém je určen pro studenty prvního a druhého ročníku bakalářského programu. V této práci jsme se zaměřili na vytvoření aplikačního rozhraní pěti úloh: volný pád, svislý vrh vzhůru, vodorovný vrh, šikmý vrh, harmonický pohyb. Pro tyto úlohy bylo vytvořeno jednotné grafické schéma, podle kterého se budou dále rozvíjet ostatní animace. Kromě simulací bylo vytvořeno také rozhraní pro spouštění animačních programů jednotlivých jevů. Postupně budou vytvořeny simulace pro další fyzikální oblasti magnetismu a elektřiny. Vznikne tak tedy kompletní studijní nástroj pro výuku počítačových cvičení fyziky na Fakultě elektrotechniky a komunikačních technologií VUT v Brně. Hlavním přínosem celé práce je vytvoření univerzálního prostředí, které je dosti flexibilní a je možné je nadále rozšiřovat. Tento systém v budoucnu bude moci být používán individuálně, díky předpokládané implementaci do webového prostředí. Studium fyziky se tedy stane zajímavějším a méně náročným.

## Použitá literatura

- [1] SVOBODA, E. a kol. *Přehled středoškolské fyziky*. Prometheus, Praha 2001. ISBN 80-7196-116-7.
- [2] HALLIDAY, D. RESNICK, R., WALKER, J. *Fyzika, část 1 Mechanika*. VUTIUM, Brno 2000. ISBN 80-214-1868-0.
- [3] HALLIDAY, D. RESNICK, R., WALKER, J. *Fyzika, část 2 Mechanika-Termodynamika*. VUTIUM, Brno 2000. ISBN 80-214-1868-0.
- [4] MATOUŠEK, D. *C++ Builder 4.0, 5.0 a 6.0 - vývojové prostředí - 1.díl*. BEN-technická literatura 2002. ISBN 80-7300-064-4
- [5] DOSTÁL, R.: Základy OOP v C++: Od C k C++. *Builder*. [online] 6.12.2000 [cit. 2008-12-1]. Dostupný z WWW: [http://www.builder.cz/art/cpp/cpp\\_oop.html](http://www.builder.cz/art/cpp/cpp_oop.html)
- [6] DOSTÁL, R.: Základní pojmy objektově orientovaného programování. *Builder* [online] 18.12.2000 [cit. 2008-12-1]. Dostupný z WWW: [http://www.builder.cz/art/cpp/cpp\\_zaklad\\_obp.html](http://www.builder.cz/art/cpp/cpp_zaklad_obp.html)
- [7] RAIDA, Z., FIALA, P. *Počítače a programování 2: skripta*. Brno: FEKT VUT v Brně
- [8] Diskuzní forum: C++ Builder. *Builder*. [online]. 2003 [cit. 2009-04-15]. Dostupný z WWW: <<http://forum.builder.cz/read.php?12,2928778>>.
- [9] Diskuzní forum: C++ Builder. *Builder*. [online]. 2003 [cit. 2009-04-15]. Dostupný z WWW: <<http://forum.builder.cz/read.php?12,2845422,2921126#msg-2921126>>.
- [10] Diskuzní forum: C++ Builder. *Builder*. [online]. 2003 [cit. 2009-04-20]. Dostupný z WWW: <<http://forum.builder.cz/read.php?12,1250203,1250203#msg-1250203>>.
- [11] Diskuzní forum: C++ Builder. *Builder*. [online]. 2003 [cit. 2009-04-26]. Dostupný z WWW: <<http://forum.builder.cz/read.php?18,2229492,2229694#msg-2229694>>.
- [12] Diskuzní forum: C++ Builder. *Builder*. [online]. 2003 [cit. 2008-10-20]. Dostupný z WWW: <<http://forum.builder.cz/read.php?12,1348062,1349600#msg-1349600>>.
- [13] Diskuzní forum: C++ Builder. *Builder*. [online]. 2003 [cit. 2008-11-10]. Dostupný z WWW: <<http://forum.builder.cz/read.php?12,2799097,2799161#msg-2799161>>.
- [14] Tutorial: How to display Flash animation in Visual C++ MFC application. *Bytescout* [online]. 2003 [cit. 2009-04-22]. Dostupný z WWW: <[http://www.bytescout.com/display\\_flash\\_in\\_visualc.html](http://www.bytescout.com/display_flash_in_visualc.html)>.
- [15] TAUFER, I., HRUBINA, K., TAUFER, J. *Algoritmy a algoritmizace, vývojové diagramy, sbírka řešených příkladů*. Pardubice: Fakulta chemicko-technologická, Univerzita Pardubice, 2001.

## Seznam veličin

$d$	délka vrhu
$f$	frekvence
$\mathbf{g}$	vektor tíhového zrychlení
$g_n$	normální tíhové zrychlení
$h$	výška výstupu
$\mathbf{i}$	jednotkový vektor ve směru osy $x$
$\mathbf{j}$	jednotkový vektor ve směru osy $y$
$\mathbf{r}$	polohový vektor
$s$	dráha
$T$	perioda
$t$	čas
$t_d$	doba pohybu
$t_d$	doba pádu
$t_h$	doba výstupu
$t_p$	doba pádu
$\mathbf{v}$	vektor rychlosti
$\mathbf{v}_0$	vektor počáteční rychlosti
$v_0$	velikost počáteční rychlosti
$v_{0x}$	velikost složky rychlosti ve směru osy $x$
$v_{0y}$	velikost složky rychlosti ve směru osy $y$
$v_d$	velikost dopadové rychlosti
$\mathbf{v}_x$	vektor rychlosti ve směru osy $x$
$\mathbf{v}_y$	vektor rychlosti ve směru osy $y$
$x$	vzdálenost ve směru osy $x$
$x_0$	nulová hodnota osy $x$
$x_m$	amplituda
$y$	vzdálenost ve směru osy $y$
$\alpha$	elevační úhel
$\omega$	úhlová frekvence
$\varphi$	fázový posun

## Seznam příloh

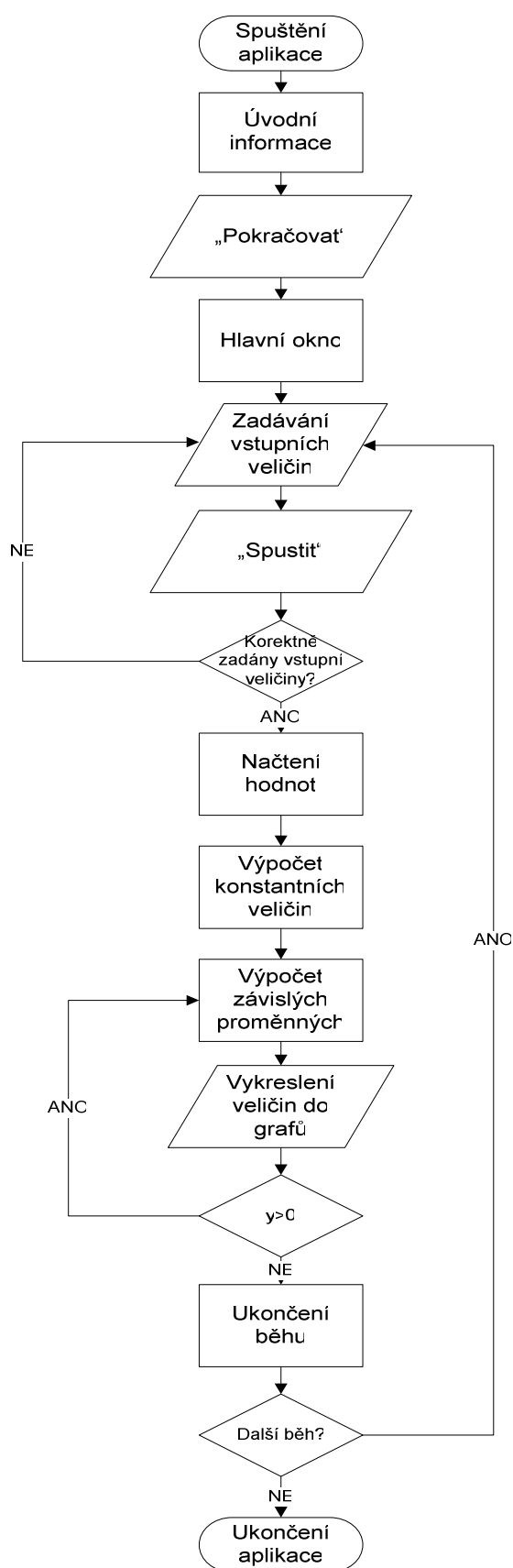
A	Obsah přiloženého CD .....	38
B	Vývojový diagram simulačních programů .....	39
C	Vývojový diagram aplikace Menu .....	40

## **A Obsah přiloženého CD**

CD obsahuje zdrojové kódy všech pěti simulačních aplikací, jež byly v rámci této práce vytvářeny. Tedy volný pád, svislý vrh vzhůru, šikmý vrh, vodorovný vrh a harmonický pohyb. Zdrojové kódy se nachází v adresáři s názvem příslušného jevu.

Na CD se také v adresáři Menu nachází zdrojové kódy aplikace Menu, jeho konfigurační soubor Edit.txt. V podadresáři „aplikace“ jsou spustitelné aplikace vytvářených simulací. Všechny aplikace byly vytvořeny v prostředí C++Builder 6, pro otevření zdrojových kódů je třeba vývojové prostředí C++Builder 6 nebo vyšší verze. Uživatelské programy (\*.exe soubory) je možné spouštět i bez instalace C++Builder.

## B Vývojový diagram simulačních programů



## C Vývojový diagram aplikace Menu

